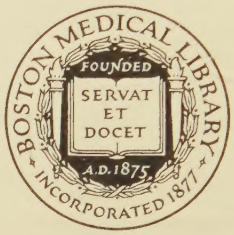
BOSTON
MEDICAL LIBRARY



IN THE
Francis A. Countway
Library of Medicine
BOSTON

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/ergebnissedermed0001hhol

Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung

Band I

Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung

(Röntgendiagnostik, Röntgen-, Radium- und Lichttherapie)

Herausgegeben von

H. Holfelder, Frankfurt a. M. / **H. Holthusen,** Hamburg
O. Jüngling, Tübingen / **H. Martius,** Bonn a. Rh.

Band I

Mit 451 Abbildungen im Text und
3 photographischen Tafeln

Leipzig 1925

Verlag von Georg Thieme

WN
5
E67
Bd.1
1925
copy 1

Alle Rechte, auch das der Übersetzung
in die russische Sprache, vorbehalten.
Copyright 1925 by Georg Thieme, Leipzig, Germany.

Roßberg'sche Buchdruckerei, Leipzig.

Zur Einführung.

Das Gebiet der medizinischen Strahlenforschung hat im letzten Jahrzehnt einen ungeheuren Umfang angenommen; Forscher der verschiedenartigsten Richtungen und Disziplinen aller Kulturvölker haben eine Unmenge von Einzelbeiträgen geliefert, die ihrerseits wieder die anderen Zweige der medizinischen Strahlenforschung mehr oder weniger merklich befruchtet haben; nirgends in der Welt hat die medizinische Strahlenforschung von Anfang an ein einheitliches und in sich abgeschlossenes Arbeitsgebiet gebildet, wie die übrigen großen Disziplinen der medizinischen Wissenschaft dies jetzt tun. Sie verdankt ihre Entwicklung und Förderung vielmehr gerade diesen älteren großen Disziplinen. Sowohl der Chirurg, der Internist und der Gynäkologe, als auch die Spezialisten der anderen medizinischen Fächer haben schon bald nach der Entdeckung der Röntgen- und Radiumstrahlen erkannt, welch große Dienste diese ihrem Spezialfach sowohl in diagnostischer als auch in therapeutischer Beziehung leisten können. Jeder bemühte sich deshalb an seiner Stelle, dieses neue Mittel durch eigene Arbeit seinen besonderen Zwecken dienstbar zu machen. So ist es zu erklären, daß sich röntgendiagnostische und strahlentherapeutische Arbeiten in der ganzen medizinischen Literatur zerstreut finden.

Die rein physikalische Forschung dagegen wurde im wesentlichen in den physikalischen Zeitschriften niedergelegt, welche dem Mediziner nur seltener zugänglich sind. Zudem zeigte sich bald, daß für die praktische Anwendung der verschiedenen Strahlenarten in der Medizin eine Reihe von physikalischen Fragen auftauchten, deren Bearbeitung und Klärung dem Physiker vom Fach ferner lag. Vielfach mußte deshalb der Mediziner durch eigene physikalische Arbeiten die Antwort auf die ihn besonders interessierenden physikalischen Fragen suchen. Erst in letzter Zeit haben sich zahlreiche Physiker vom Fach ganz speziell der Bearbeitung jener physikalischen Probleme zugewandt, welche den Mediziner am meisten beschäftigen. So findet sich in der medizinischen Literatur ein großer Teil rein physikalischer Arbeiten, und auch hier fehlt die einheitliche Zusammenfassung.

Die zahlreichen und immer dringender werdenden biologischen Fragen berühren sich so eng mit mikroskopisch-anatomischen, mit physiologischen und mit experimentell-therapeutischen Arbeiten und sind infolgedessen in der Literatur dieser Arbeitsgebiete nicht minder zerstreut. Auch hier dürfte eine einheitliche Zusammenfassung sowohl für den Wissenschaftler wie für den Praktiker nützlich sein.

Die Vielseitigkeit der Forscher und der Forschungsergebnisse ist zweifellos ein wesentlicher Grund für die erstaunlich rasche und ungeahnte Ausdehnung, welche die medizinische Strahlenforschung in den kaum drei Jahrzehnten ihres Bestehens gewonnen hat. So begrüßenswert diese Vielseitigkeit der Mitarbeiter auch für die Weiterentwick-

lung dieses Gebietes sein wird, so ist doch die gerade dadurch veranlaßte Zersplitterung in der Literatur mit dem zunehmenden Umfang der gesamten medizinischen Strahlenforschung für den einzelnen Bearbeiter immer stärker störend fühlbar geworden. Die röntgenologischen und strahlentherapeutischen Fachzeitschriften füllen hier zwar schon eine große Lücke aus, vermögen aber doch nicht die ungeheure Fülle der überall zerstreuten Literatur einheitlich und vollständig zusammenzufassen. Eine solche zusammenfassende Arbeit ist nur dann möglich, wenn man sich auf die Bearbeitung verhältnismäßig kleiner Teilgebiete beschränkt und an diese Arbeit mit einer scharf formulierten und eng begrenzten Fragestellung herangeht.

Es fehlen Monographien über jedes einzelne Sonderproblem der medizinischen Strahlenforschung. Die Unterzeichneten haben es sich deshalb zur Aufgabe gestellt, die in der Weltliteratur zerstreuten Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung in Einzeldarstellungen zu sammeln, die, bearbeitet von den besten Fachkennern des jeweils dargestellten Problems, einen möglichst lückenlosen Überblick über das wissenschaftliche und praktische Ergebnis dieser Forschung geben sollen.

Zu unserer Freude haben sich namhafte Fachgenossen auf unsere Aufforderung in den Dienst dieser Aufgabe gestellt, und es ist uns heute möglich, den ersten Band dieser Sammlung seinem Leserkreise zu übergeben. Wir möchten an dieser Stelle jedem einzelnen unserer Mitarbeiter für die recht erhebliche Mühe danken, welche sie auf die Durchführung der oft sehr schwierigen Aufgabe verwandt haben. Wir glauben, daß die behandelten Einzelgebiete bei möglichst knapper Darstellungsweise doch eine so vollständige Erörterung erfahren haben, daß die Sammlung vollauf ihren Zweck erfüllt, dem Wissenschaftler eine lückenlose und sicher gezeichnete Grundlage für die weitere Forschung und dem Praktiker ein gediegenes Nachschlagewerk zu sein.

Die Verlagsbuchhandlung hat mit bekannter Großzügigkeit und Tatkraft dafür gesorgt, daß die Form und die Ausstattung des Werkes nicht hinter dem Inhalt zurückstehen.

Frühjahr 1925.

Hans Holfelder. Hermann Holthusen.

Otto Jüngling. Heinrich Martius.

Gesamt-Inhaltsübersicht.

Seite

Aufgaben und Erfolge der röntgenologischen Diagnostik bösartiger und entzündlicher Dickdarmgeschwülste. Von Privatdozent Dr. Albert Wilhelm Fischer, Frankfurt a. M. 1

Zur Frage der Knochenatrophie. Von Dr. E. Friedl und Privatdozent Dr. Hans R. Schinz, Zürich 95

Die akute Miliartuberkulose im Röntgenbild. Von Professor Dr. Alexander Lorey, Hamburg 131

Die Spektroskopie in der medizinischen Röntgenologie. Von Professor Dr. Leonhard Grebe, Bonn 147

Die Ionisationsmessung der Röntgenstrahlen. Von Privatdozent Dr. Hans Küstner, Göttingen 175

Strahlenschutz und Anlage von Röntgenabteilungen. Von Professor Dr. R. Glocker, Stuttgart 365

Physikalische Sensibilisierung. Von Professor Dr. Hermann Holthusen, Hamburg 383

Zur Kenntnis des Röntgenhodens. Von Privatdozent Dr. Hans R. Schinz und Dr. Benno Slotopolsky, Zürich 443

Die Strahlenbehandlung des Kollumkarzinoms. Von Professor Dr. Wilhelm Lahm, Dresden 527

Die Röntgen- und Radiumbehandlung des Ösophaguskarzinoms. Von Privatdozent Dr. Hans Kurtzahn, Königsberg i. Pr. 665

Namenverzeichnis 721

Sachverzeichnis 729

Aufgaben und Erfolge der röntgenologischen Diagnostik bösartiger und entzündlicher Dickdarmgeschwülste

Von

Privatdozent Dr. **Albert Wilhelm Fischer**

Mit 140 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Allgemeines über die Aufgaben der röntgenologischen Dickdarmdiagnostik . 3

II. Die röntgendiagnostischen Verfahren 4
A. Kontrastmahlzeit 4
B. Kontrasteinlauf 5
C. Kombination von Kontrastmahlzeit und Kontrasteinlauf 8
D. Die künstliche Luftblähung des Dickdarmes 8
E. Die Kombination von Kontrastbreipassage und Luftblähung 9
F. Die Kombination von Kontrasteinlauf und Luftblähung 9
G. Das Pneumoperitoneum 11

III. Die diagnostischen Elemente des Dickdarmröntgenbildes 11
A. Der Verlauf des Dickdarmes 11
B. Die Beobachtungen der Darmkontur 13
C. Die Beobachtung des Darmkontrastfeldes 15
D. Die Beobachtung der Darmdehnungsfähigkeit 16

IV. Kritik der einzelnen Röntgenverfahren bezüglich ihrer Verwendbarkeit für die Tumordiagnose 17

V. Die Indikation zur Anwendung des Röntgenverfahrens 18

VI. Klinisch-Statistisches über die Darmtumoren 21

VII. Zur pathologischen Anatomie der Dickdarmtumoren 22
A. Die Tumoren im engeren Sinne 22
B. Die tumorbildenden Dickdarmentzündungen 24
1. Spezifische Entzündungen 24
2. Unspezifische Entzündungen 26
C. Durch Invagination bedingte Tumoren 30
D. Kottumoren, Enterolithen 30

VIII. Allgemeine röntgenologische Symptome des Dickdarmtumors. 30
A. Der Füllungsdefekt (Stierlinzeichen) 31
B. Die Stauung vor einem Hindernis (antero- und retrograd) 34
C. Direkte Ulkussymptome 36

IX. Spezielle Diagnostik der Dickdarmgeschwülste 37
A. Die Geschwülste des Coecum und Colon-Ascendens 37
B. Die Geschwülste der Flexura coli dextra 60
C. Die Geschwülste des Colon transversum. 62
D. Die Geschwülste der Flexura lienalis 69
E. Die Geschwülste des Colon descendens 71
F. Die Geschwülste des Colon sigmoideum 76
Als Unterabteilung von IX A—F: Echte Tumoren. Entzündungen. Sonstige Geschwülste.

Schlußwort 86

Literaturverzeichnis 87

I. Allgemeines über die Aufgaben der röntgenologischen Dickdarmdiagnostik.

Unsere gesamte Karzinomtherapie krankt daran, daß die Fälle meist allzu spät in die Hände des Chirurgen gelangen. Selbst bei dem so überaus leicht diagnostizierbaren Krebs des Rektum sind es nach eigenen und Literaturerfahrungen etwa 50—75%, die schon bei der Kliniksaufnahme sich als inoperabel erweisen; auch beim Kolonkarzinom ist dies Verhältnis nicht viel anders, auch diese Fälle kommen meist erst nach langer „Vorbehandlung" zur Aufnahme, wobei allerdings zugegeben werden muß, daß eine ganze Reihe von Fällen schon beim Auftreten der ersten Symptome bereits nicht mehr operabel sind. Beim Krebs des untersten Dickdarmabschnittes, des Rektum, kann die Röntgendiagnose keine Rolle spielen, weil hier der Krankheitsherd dem Finger und durch das Rektoskop dem Auge zugänglich ist, bei den Tumoren des höheren Dickdarmes liegen die Verhältnisse grundsätzlich anders, hier hat sich die Röntgenuntersuchung zur Kardinalmethode entwickelt.

Während ein großer Teil der Ärzteschaft sich bereits daran gewöhnt hat, Patienten mit länger anhaltenden Magenbeschwerden der Röntgenuntersuchung zuzuweisen, weil sie wissen, daß nur auf diese Weise sich ein klares Bild gewinnen läßt, ist es noch durchaus üblich, beim Auftreten von Symptomen, die auf einen Dickdarmtumor hinweisen können, vorerst eine „symptomatische" Therapie einzuleiten. Es muß mit allem Nachdruck gefordert werden, daß schon bei Symptomen, die auch nur den Verdacht auf einen Darmkrebs aufkommen lassen, der Kranke röntgenologisch untersucht wird. Ergibt die Durchleuchtung nicht mit größter Wahrscheinlichkeit die Abwesenheit eines Darmtumors, dann tritt als letztes Klärungsmittel die diagnostische Laparotomie in ihre Rechte, ein Verfahren, das sich im allgemeinen und speziell auch an der Frankfurter Klinik in vielen Fällen auf das beste bewährt hat. (Schmieden in Payr-Zweifel.)

Unsere Besprechung kann sich nicht mit der großen Zahl der anderen diagnostischen Methoden (Nachweis von okkultem Blut usw.) befassen, sie muß sich auf die Röntgenuntersuchung beschränken, anderseits kann sie sich aber nicht auf das Dickdarmkarzinom, also auf den „Tumor in engerem Sinne" allein beziehen. Wie wir nachher an Hand von Fällen sehen werden, ist es oft selbst bei eröffneter Bauchhöhle nicht möglich, den bösartigen Tumor von entzündlichen Geschwulstbildungen zu unterscheiden, die röntgenologische Differenzierung wird in sehr vielen Fällen auch nicht gelingen. Es ist also unumgänglich, neben den eigentlich malignen Tumoren auch das große Gebiet der tumorbildenden Dickdarmentzündungen in den Rahmen unserer Betrachtung aufzunehmen. Sinngemäß gehören auch die Invaginationstumoren hierher, ebenso die gutartigen Gewächse des Kolon. Auch werden wir oft vor der Frage stehen, ob ein fühlbarer Tumor dem Dickdarm angehört oder nicht; wir sehen also, daß wir uns, kurz gesagt, mit der Differentialdiagnose des Begriffskomplexes „Tumor im Bauch" vom Standpunkte des Röntgenologen zu befassen haben.

Daß die Röntgenuntersuchung des Dickdarmes ein überaus schwieriges und große persönliche Erfahrung erforderndes Kapitel ist, ist allgemein anerkannt. Gar oft er-

geben sich unbefriedigende Bilder, deren Deutung, besonders wenn es sich wie meist um Verdachtsfälle ohne klare klinische Symptome handelt, durch zahlreiche Täuschungsmöglichkeiten erschwert ist.

Die Untersuchungstechnik ist relativ unbequem, erfordert Durchleuchtungen im Stehen, in Seiten- und Rückenlage, all das mag wohl der Grund dafür sein, daß dies Gebiet noch lange nicht die, ich möchte sagen liebevolle systematische Durcharbeitung erfahren hat, wie sie dem Magen und in letzter Zeit dem Duodenum zuteil geworden ist. Die in der ersten Zeit nach Rieders Publikation, aber auch in späteren Jahren nicht seltenen Fehldiagnosen nach der positiven wie nach der negativen Seite haben dazu geführt, daß häufiger von klinischer Seite der röntgenologischen Dickdarmdiagnostik Unzuverlässigkeit vorgeworfen wurde. Es wurde darauf hingewiesen, daß ein Fehlen von Stenoseerscheinungen auch die Erkennung des Tumors im Röntgenbilde illusorisch mache, daß hingegen bei Bestehen einer Stauung auch ohnehin operativ eingegriffen werden müsse, daß also in diesen Fällen die röntgenologische Untersuchung überflüssig sei. Selbst bei sicherer Stenose war man Täuschungen unterworfen, insofern die röntgenologische Lokalisation nicht mit der Autopsia in vivo übereinstimmte.

Die jahrelange sorgfältige Registrierung und Verwertung all dieser Täuschungen hat aber doch schließlich zu einer derartigen Ausbildung der Technik geführt, daß heute das harte Urteil der Unzuverlässigkeit keineswegs mehr begründet ist. Einen Markstein größter Bedeutung in dieser Entwicklung ist die Arbeit von Haenisch, der an die Stelle der Serienphotographie mit unzuverlässigen Augenblicksbildern die fortlaufende Durchleuchtung vor dem Schirm einführte. Bei dem heutigen Stande der Untersuchungstechnik können wir einen sehr hohen Grad diagnostischer Zuverlässigkeit erwarten, wenn wir uns auch darüber klar sein müssen, daß es so gut wie keine diagnostische Methode gibt, die mit 100% Sicherheit arbeitet. Die früher so häufigen Irrtümer in dem Sinne, daß der Chirurg keinen Tumor fand, wo ihn der Röntgenologe lokalisiert hatte, oder daß ein Tumor manifest wurde, nachdem kurz zuvor die röntgenologische Untersuchung ergebnislos verlaufen war, gehören jetzt wohl allgemein zu den allergrößten Seltenheiten.

Die Dauerresultate der Operation des Dickdarmkrebses sind relativ gut (40%) — im Gegensatz zum Karzinom des Magens —, gelangen also die Fälle allgemein früher in die Hand des Röntgenarztes, so wird die Zahl der operablen und damit die der geheilten Fälle sich beträchtlich mehren.

II. Die röntgendiagnostischen Verfahren.

A. Kontrastmahlzeit.

Nach mannigfachen Vorversuchen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, wurde das von Cannon schon 1897 bei Untersuchungen an Katzen als Magendarmkontrastfüllmittel verwandte Wismut im Jahre 1904 von Rieder für Studien am lebenden Menschen eingeführt.

Zusammensetzung der Original-Riedermahlzeit: 30 g Bismutum subnitric. in etwas Milch verrühren und Zusetzen zu 300—400 g Mehlbrei mit Milchzucker.

Rezept, das in der Frankfurter chirurgischen Klinik verwandt wird: 200 g Barium sulfuric. mischen mit je 1 Eßlöffel Grieß, Zucker und Kakao und 300 g Wasser, kalt die Mischung anrühren, aufkochen.

Diese Kontrastbreipassage muß durch vielfache Untersuchungen vor dem Schirm kontrolliert werden. Es genügt keinesfalls, wie das früher üblich war, in bestimmten Zeitabständen Aufnahmen zu machen, sondern man soll vor dem Schirm durchleuchten und besonders wichtig, verdächtig oder unklar erscheinende Füllungszustände genauestens abpausen oder auf der Platte fixieren. Auch empfiehlt es sich in allen Fällen, selbst wenn man klarste Anhaltspunkte für eine Erkrankung des Dickdarmes zu haben glaubt, kurz einen Blick auf die Magensilhouette zu werfen. Es werden Überraschungen nicht ausbleiben: Übergreifen eines Magenkrebses, der klinisch symptomlos verlief, auf den Dickdarm usw.

Mit Vorteil haben wir vielfach in bekannter Weise eine Doppelmahlzeit (Intervall 3—5 Stunden) gegeben und so recht gute Übersichtsbilder über den ganzen Dickdarm gewinnen können. Wieder in anderen Fällen, in denen die Darreichung einer immerhin recht kompakten Kontrastmahlzeit kontraindiziert war (Subileus), ließen sich auch recht gute Bilder nach Trinkenlassen einer einfachen Aufschwemmung von 50 g Barium sulfuric. in etwa 150—200 ccm Wasser erzielen.

Von ganz außerordentlicher Wichtigkeit ist die manuelle Palpation während der Durchleuchtung. Es gilt Schmerzpunkte in ihrer Beziehung zum Darme zu lokalisieren, die Beweglichkeit tastbarer Tumoren festzustellen, fragliche Füllungsdefekte auf ihre Konstanz bei Fingerdruck zu prüfen, sich überlagernde Schlingen zu entwirren, um so ihren Verlauf zu klären usw. Leider muß man dabei seine Hand unsympathisch lange den Strahlen aussetzen, es scheint das aber nicht allzu bedenklich zu sein, da die Hauptmenge der Röntgenenergie bereits auf dem Wege durch den Körper des Patienten absorbiert ist. Die üblichen Lederbleihandschuhe sind zu dick; streift man sie über, so ist das für diese Untersuchungen so überaus notwendige feine Tastgefühl fast völlig verloren, auch das Arbeiten mit Pelotten ist nur ein schlechter Notbehelf. Das Ideal wären schützende Handschuhe von der Dicke der chirurgischen Gummihandschuhe, die bislang noch fehlen.

Versäumen soll man auch nicht eine Durchleuchtung nach Entleerung des Kontrastkotes; in Divertikeln, Geschwüren oder vor Stenosen erscheinen dann oft deutlich noch Kontrastmassenreste.

Ob man im Stehen oder im Liegen untersucht, ist bei dieser Methode ziemlich gleichgültig.

B. Der Kontrasteinlauf.

Das Kardinalverfahren für die Röntgenuntersuchung des Dickdarmes ist der erstmalig von Hildebrand im Jahre 1901 angewandte Kontrasteinlauf mit einer Schwermetallsalzaufschwemmung geworden. Nach Hildebrand, Schüle, Rieder hat sich aber ganz besonders Hänisch um die Ausgestaltung dieser Methode verdient gemacht, seit seiner bereits erwähnten Arbeit aus dem Jahre 1911 sind neue Gesichtspunkte nicht mehr veröffentlicht worden.

Wir verwenden die bekannte Mischung Barium sulf. 200 g, Bolus alba 2 Eßlöffel auf 1000 ccm Wasser. Schlesinger empfiehlt Mondamin als Zusatz, Mondamin soll das Schwermetallsalz ausgezeichnet in Suspension halten und so eine Sedimentierung verhindern. Ein Pulver aus Barium sulf. 150,0 mit Mondamin 25,0 wird mit kaltem Wasser zu einer Paste angerührt, dann in $^1/_2$ l Wasser aufgekocht. Durch Zusatz von kaltem Wasser wird das Ganze bis zu einer Menge von $1^1/_2$ l verdünnt.

Rezept Kaestle: Bism. carbonat. 75 g (od. Barium sulfuric.), 250 g Bolus alba, 1000 g Wasser.

Rezept Schwarz: Barium sulf. purissimi (für Röntgenzwecke) 150 g, Stärke 25 g, M. f.

pulvis. Dies Pulver mit etwas kaltem Wasser zu einer Paste anrühren, dann in $^3/_4$ l Wasser aufkochen; nach dem Aufkochen durch kaltes Wasser auf $1^1/_2$ l verdünnen. Diese Masse hat die Konsistenz dünnen Rahmes.

Neuerdings bevorzugt Schwarz das Zitobarium wegen seiner schleimigen Konsistenz. 3 Eßlöffel werden dick angerührt, mit $1^1/_2$ l Wasser verdünnt und 4 gehäufte Eßlöffel Bariumsulfat zugesetzt. Wismut wird seines höheren Preises wegen kaum noch verwandt..

Über die neue Masse von Rendich zur Darstellung der Mukosa, die sicher auch gut für Einlaufzwecke brauchbar ist, fehlt mir noch genügende Erfahrung. Gummi arabic. in Pulverform wird mit der gleichen Wassermenge 5 Minuten gut umgerührt, dann einige Zeit stehengelassen; nach kurzer Zeit ist die Lösung klar. Jetzt wird dieser „special mucilage" mit der gleichen Menge Bism. subcarb. vermischt.

Zur Technik sei noch bemerkt, daß man sorgfältig jede Verklumpung der Einlaufmasse vermeiden muß, sonst hat man mit Verstopfungen des Irrigatorschlauches dauernd zu kämpfen. Ein weiterer sehr häufig zu rügender Fehler des Pflegepersonals ist das zu weite Hineinschieben des weichen Darmrohres in das Rektum. Das Rohr knickt sich dabei um und läßt dann die Flüssigkeit nicht passieren (Schüle). Unerläßlich ist eine sorgfältige Reinigung des Dickdarmes vor der Applikation des Kontrasteinlaufes, man erzielt diese Säuberung am besten durch Verflüssigung des Stuhles durch Ol.-ricini-Gaben (bzw. Sennesblättertee u. a. m.) am Vortage und doppelten Reinigungseinlauf. Schwarz vermeidet es, das Reinigungsklysma kurz vor der Untersuchung zu verabfolgen, um den Darm nicht zu reizen und um nicht durch Spasmen gestört zu sein. Er empfiehlt weiter die Darreichung von Barium per os als Gegenmittel gegen störende Blähungen.

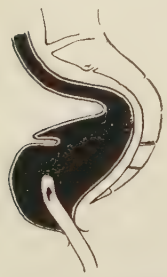


Abb. 1. Ampulla recti und Beginn der Sigmaschlinge bei geringer Füllung per clysma.

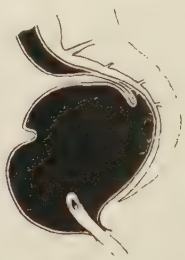


Abb. 2. Ventilverschluß am Colon pelvinum bei starker Füllung der Ampulle.

Wir beobachten fortlaufend das Eindringen der Flüssigkeit in den Darm und seine Entfaltung und sehen in dieser Beobachtung auf dem Schirme das Wesentliche dieser Methode. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß die Aufnahmen unnötig und überflüssig seien, wir brauchen sie notwendig, um wichtige Punkte festzuhalten und nicht ganz klar zu überschauende Partien — besonders bei korpulenten Leuten — besser sichtbar auf die Platte zu bannen. In der Literatur sind zeitweise 2 Parteien hervorgetreten, die eine legte allein Wert auf die Schirmdurchleuchtung, die andere erkannte nur die Serienaufnahmen an. Beide haben in dieser krassen Form unrecht, und heute wird wohl allgemein ein mittlerer Standpunkt vertreten, der eine eingehende Durchleuchtung mit Aufnahmen wichtiger Situationen kombiniert. Es liegen hier die gleichen Verhältnisse vor wie in der Magen-Duodenumdiagnostik: Auch dort kann man nur auf Grund einer Platte nicht urteilen, wenn man nicht auch durchleuchtet hat, sonst setzt man sich zahlreichen Täuschungsmöglichkeiten aus.

Beim Einlauf entfaltet sich immer zuerst die Ampulle, oft meldet sich schon heftiger Stuhldrang, bevor auch nur ein Tropfen der Flüssigkeit in das Sigma gelangt ist. Zweckmäßig läßt man in diesem Augenblick die Spülkanne senken und kann dann meist ein plötzliches Vorschießen der Kontrastmasse in die Sigmaschlinge beobachten. Gerade durch die Druckverminderung löst sich der zum Teil wohl durch Spasmen verstärkte Ventilverschluß zwischen Rektumampulle und Colon pelvinum (Abb. 1 u. 2). Leider füllt sich das Sigma meist allzu rasch, als daß man die Einzelheiten des Füllungsvorganges

gut erkennen könnte. Um diese so wichtige, oft verdächtige Schlinge besser überblicken zu können, hat Haenisch vorgeschlagen, die Flüssigkeit durch tiefes Senken des Irrigators wieder herauszuhebern und dann ein zweites oder auch drittes Mal wieder einfließen zu lassen. Leider ist ein derartiges Hin- und Herfließenlassen nicht immer durchführbar, da Ventilverschlüsse durch Zusammenklappen der weichen Darmwandung beim Absinken des Innendruckes störend wirken. Mit der Schwierigkeit, daß die sich überlagernden Dickdarmschlingen schlecht zu übersehen sind, haben wir auch an der rechten und linken Flexur zu beiden Enden des Querkolon zu kämpfen. Die Flexura lienalis läßt sich meist noch besser übersehen als die Flexura hepatica. Vielfach nützt hier eine Durchleuchtung im schrägen Durchmesser. Die schon im vorigen Absatz erwähnte manuelle Palpation wird hier oft entscheidend den Röntgenbefund klären können, bei der Untersuchung des Sigma läßt sie uns häufig im Stich, wenn die Schlingen unerreichbar tief im kleinen Becken liegen.

Gewöhnlich nimmt die Geschwindigkeit der vordringenden Flüssigkeit allmählich ab, und recht oft ist es notwendig, einige Kunstgriffe anzuwenden, um eine gute Ausfüllung des Coecum-Ascendens zu erhalten. Einen gewissen Anhalt dafür, ob das Ende der Schattensäule wirklich das Coekum bedeutet, bekommt man neben der Beobachtung der Form aus der Lagebeziehung zum Beckenkamm und zur Linea innominata. Das normale Coekum reicht immer bis zum Rande des kleinen Beckens hinunter, endigt oft sogar noch tiefer. Sehen wir eine Endigung oben an der Leberpforte oder in Höhe des Beckenkammes, so müssen wir zuerst versuchen, durch Lagerung auf die rechte Seite, leichte Massage des Bauches von links nach rechts oder durch Erhöhung des Einlaufdruckes die Entfaltung dieses Dickdarmabschnittes zu erreichen. Auch in Fällen, die sich später als normal erwiesen haben, sah ich eine völlige Füllung des Coecum-Ascendens ausgeblieben, alle Kunstgriffe, die ich oben erwähnte, waren vergeblich, und wenn ich die Einlaufmenge vergrößern wollte, kam es zur Insuffizienz des Afterschließmuskels. Mangelnde Muskelkraft der Analsphinkteren erschwert recht häufig die Irrigo-Röntgenoskopie, kann sie sogar nahezu unmöglich machen, wenn gleich neben dem Darmrohre die Flüssigkeit wieder aus der Ampulle herausläuft und den Untersuchungstisch überschwemmt. — Schwarz hat diese recht unangenehme Störung durch seinen in Abb. 3 wiedergegebenen Tamponschlauch zu vermeiden gesucht. Der Tampon soll stöpselartig den After verschließen. Die Schlußfähigkeit der Bauhinschen Klappe muß bei dieser Untersuchung natürlich auch registriert werden. Gelegentlich ist eine Irrigoskopie auch bei Bestehen einer Dickdarmfistel oder eines doppelläufigen Anus praeter naturalis notwendig. In solchen Fällen stopfe man eine Mullbinde in die Fistel, lege einen Pappdeckel auf die Öffnung und wickle ihn mit einer zirkulären Bindentour um den Bauch fest an.

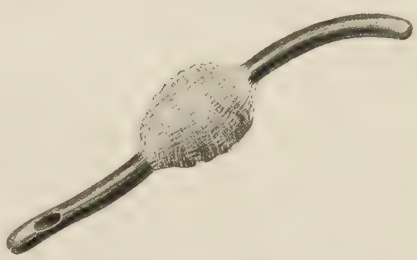


Abb. 3. Tamponschlauch für Fälle von Insuffizienz des M. sphincter ani nach Schwarz.

Stierlin legt großen Wert auf die Durchleuchtung bzw. Aufnahme nach teilweiser Entleerung der Kontrastflüssigkeit auf dem Abort. Diese Untersuchung soll den Wert einer funktionellen Prüfung haben, da die Verteilung der Restflüssigkeit nach der Defäkation Rückschlüsse auf die Inhaltsverschiebung während des Defäkationsaktes zuläßt. So wird nach dem Stuhlgang ein hypermotiler Abschnitt sicher mehr oder weniger leer gefunden. Auch werden sich Reste oberhalb einer Verengerung ansammeln, während

die Inhaltsmasse unterhalb per anum entleert wurde; wichtig ist auch der Nachweis feiner Kontrastrückstände in Unebenheiten der Mukosa, die bei voller Füllung nicht zum Ausdruck kommen können.

C. Die Kombination von Kontrastbreipassage und Kontrasteinlauf.

Diese Untersuchungsart verdient wohl kaum die Bezeichnung einer besonderen Methode. Sie wird mit Vorteil vielfach angewandt, namentlich wenn es sich darum handelt, bei stockendem Vorrücken der Breimahlzeit durch einen Einlauf die untere Grenze einer Stenose festzustellen. Stierlin redet dieser Kombination besonders für den Nachweis kleiner stenosierender Krebse das Wort. Mit der Applikation des Einlaufes wartet man vorteilhaft einige Tage, um dem Kontrastsalz Zeit zur allmählich fortschreitenden Umhüllung der vor der Stenose liegenden alten Kotmassen zu lassen. Man erhält sonst leicht falsche Bilder, auf denen die Verengerung — Schattenausfall einen zu großen Abschnitt einnimmt.

D. Die künstliche Luftaufblähung des Dickdarmes.

Die palpatorische Untersuchung des Darmes nach Aufblähung mit Luft ist sehr alt, sie wurde meist angewandt, wenn es sich um die Lokalisation eines Bauchtumors mit unbekanntem Ausgang handelte. Ergab z. B. die Dickdarmaufblähung ein Verschwinden des Tumors, so sprach das gegen einen Sitz des Tumors im Darm usw. — Schon lange vor Einführung der Schwermetallsalze als Kontrastmittel durch Rieder hatte man sich mit der Untersuchung des luftgefüllten Magens und Darmes vor dem Röntgenschirme beschäftigt. Bedeutet doch auch die Luftfüllung eine Kontrastfüllung, nur nach der Seite größerer Strahlendurchlässigkeit im Gegensatz zu den strahlenundurchlässigen Schwermetallsalzen. Während man den Magen zuerst durch einen Magenschlauch oder durch Einnehmenlassen einer kohlensäureentwickelnden Mischung (Natr. bicarb. — Natr. tart.) mit Gas füllte, blies man in den Darm per anum entweder Sauerstoff (Kraus) oder Luft ein. Diese Methoden sind aber nicht Allgemeingut geworden, sie blieben im Versuchsstadium stehen, zum Teil sicher zu Unrecht. Das Ziel, was diese Arbeiten verfolgten, war auch nicht einheitlich, die einen suchten auf diese Weise die intraabdominalen Drüsen (Leber, Gallenblase, Milz, Pankreas) darzustellen, die anderen erhofften von der Gasfüllung eine Verbesserung der speziellen Dickdarmdiagnostik. Cole und Einhorn sind meines Wissens die ersten, die systematische Untersuchungen in der letztgenannten Richtung anstellten. Mittels eines gewöhnlichen Gummiballons bliesen sie etwa 800—1200 ccm Luft ein, machten dann sofort eine Aufnahme und rieten die Platten mit dem Fernglas aus einigen Metern Entfernung zu betrachten, da man so besser Einzelheiten erkennen könne. Sie halten die Methode für sehr geeignet, um die Größe, Form und Lage der einzelnen Verdauungsorgane und etwaige Tumoren zu erkennen; sie schließen, wenn die Methode auch nicht die bewährte Kontrastbreipassage und den Kontrasteinlauf verdrängen könne, so sei sie doch berufen, eine wichtige Ergänzung dazu zu bilden. Leider sind die der Arbeit beigegebenen Bilder nicht sehr kontrastreich, so daß nur wenige Röntgenologen ermuntert wurden, diese Methode auszuprobieren. Diagnostische Analysen ihrer Befunde geben die Verfasser in ihrer Arbeit nicht. Ein Jahr später befaßt sich Kraus mit dem gleichen Gebiet, auch er rühmt dieser Technik ganz besondere Vorzüge nach, verwandte aber statt der Luft den angeblich zweckmäßigeren Sauerstoff. Die Sauerstoffüllung gibt nach Kraus schöne und gleichmäßige Bilder des gesamten Dickdarmes, der dabei nicht allzu stark gedehnt sein soll. Der Sauerstoff wird einer der bekannten Bomben entnommen, die Füllung ist beendet,

wenn durch vollen tympanitischen Schall der Verlauf des Dickdarmes festzustellen ist. Die Untersuchungen werden am stehenden Patienten ausgeführt. Die Gefahr des Platzens einer geschwürigen Stelle läßt sich bei einiger Vorsicht sicher vermeiden. Besser als die Bilder von Cole und Einhorn sind die Röntgenogramme von Kraus sicher, doch läßt sich auch hier kein guter Überblick über Sigma und Colon pelvinum gewinnen. Recht klar erscheinen die Abbildungen über Lageänderungen des Darmes, schlecht verständlich ist das Bild eines Flexurkarzinoms.

In Burkhard-Nürnberg hat Kraus einen Nachprüfer gefunden, der sich aber auch sehr vorsichtig über den Wert der Bilder äußert, er hat einige recht gute Bilder veröffentlicht, die aber nur das Coecum mobile betreffen.

Auch Schwarz-Wien hat offenbar dies Verfahren versucht, ihm jedoch keinen besonderen Wert beigemessen.

In den folgenden Jahren hat sich kein neuer Verfechter der reinen Luft- bzw. Sauerstoffüllung als Kontrastmittel gefunden. Die Arbeiten von Meyer-Betz, Schittenhelm, später von Henczelmann haben zum Ziel lediglich die uns hier nicht interessierende Sichtbarmachung der großen Bauchdrüsen.

E. Die Kombination von Kontrastbreipassage und Luftblähung.

Laurell-Upsala hat im Jahre 1921 dies Verfahren mitgeteilt, er insuffliert Luft, sobald die Kontrastmahlzeit den Dickdarm erreicht hat. Er erzielt auf diese Weise besonders in den Gebieten, in denen der Kot noch dünnflüssig ist, also im Coecum-Ascendens und proximalen Transversum, Bilder, die denen im nächsten Absatz zu besprechenden sehr ähneln (Abb. 4). Dies Verfahren hat einen Vorläufer in Rumpels Versuchen gehabt, der schon vor 25 Jahren reichlich Bismutum subnitricum per os gab und dann rektal den Darm aufblähte.

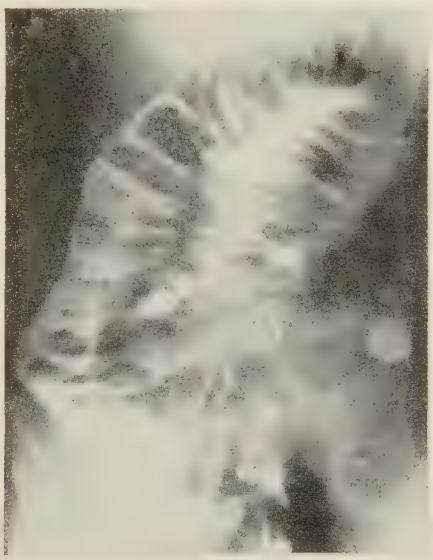


Abb. 4. Künstliche Luftfüllung des Darmes in Verbindung mit Kontrastmahlzeit nach Laurell. Aus Acta rad. I. S. 490.

F. Die Kombination von Kontrasteinlauf und Luftblähung.

Diese von A. W. Fischer angegebene und ausgearbeitete Technik hat zum Ziel, durch einen Einlauf die Mukosa mit einem feinen Kontrastbeschlag eines Schwermetallsalzes zu versehen und dann durch Lufteinblasung zu entfalten. Stets soll man die Untersuchung mit der Beobachtung des regulären Kontrasteinlaufes auf dem Trochoskop beginnen und dann erst die Luftfüllung per anum anschließen.

Mindestens ebenso wie beim Kontrasteinlauf muß hier eine sorgfältige Vorbereitung, d. h. Reinigung des Dickdarmes der Untersuchung vorausgehen. Feste Kotballen können zu unangenehmen Täuschungen Veranlassung geben. Die Skybala imprägnieren sich an ihrer Oberfläche mit dem Schwermetallsalz und im Luftfeld erscheinen dann Bilder, die sehr Tumoren ähneln können. Immerhin gelingt es oft, wenn die Zeit bei ambulanten Patienten knapp ist, mit einem kurz vor der Untersuchung gegebenen Seifenwasserreinigungseinlauf auszukommen.

Die Luft wird mittels eines einfachen Gebläses unter Zwischenschaltung eines drehbaren Hahnes durch ein kurzes stumpfes Glasrohr in den Darm eingeblasen. Der Hahn wird geschlossen, das Rohr eingeführt, der Ball aufgeblasen, der Hahn geöffnet und nach Entleerung des Balles sofort wieder geschlossen, um einen Rückfluß des Einlaufes in das Gebläse zu verhindern. Als Normalposition möchte ich die rechte Seitenlage bei horizontalem Strahlengang bezeichnen, das Gesicht des zu Untersuchenden soll dabei dem Arzte zugekehrt sein. Ist der Dickdarm bereits mit 1 l Bariumeinlauf angefüllt, so wird das Einblasen von 1 l Luft noch ohne Beschwerden in den meisten Fällen ertragen. Es ist keinesfalls notwendig, prinzipiell den Darm zu entleeren, bevor man Luft einbläst. Ebenso wie beim Kontrasteinlauf soll hier das Vordringen der Luft beobachtet werden. Gut sichtbar als helleuchtender Fleck gleitet die Luft nach Dehnung der Ampulle durch das Sigma und läßt allmählich den Verlauf der sich hier meist überlagernden Schlingen erkennen. Flüssigkeitsspiegel werden erkennbar, über denen sich eine helleuchtende Luftblase entwickelt, bei jedem Druck auf den Gummiball sieht man die einzelnen Niveaus sich heben und senken, sieht die Flüssigkeit beim Durchperlen der Luft aufbrodeln. Gar so einfach ist übrigens auch bei dieser Methode nicht die Übersicht über die ganze Sigmaschlinge zu erzielen; wie überall gehört auch einige Vertrautheit mit den ungewohnten Bildern der Methode dazu, den

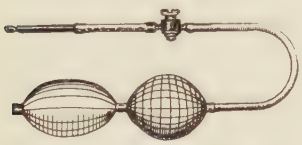


Abb. 5. Doppelgebläse mit zwischengeschaltetem Hahn und Glasrohransatz für die Luftinsufflation per rectum.

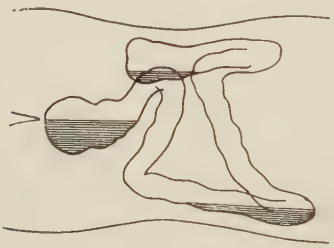


Abb. 6. Verteilung von Luft und Flüssigkeit in linker Seitenlage.

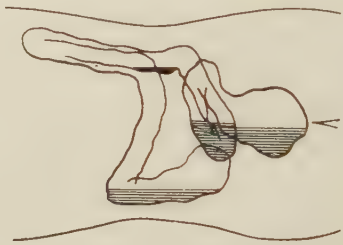


Abb. 7. Verteilung von Luft und Flüssigkeit in rechter Seitenlage.

Verlauf richtig zu deuten. Das Einblasen der Luft soll langsam mit Pausen geschehen, vermieden werden muß plötzlich einsetzende stärkere Druckerhöhung genau wie beim Einfließenlassen der Kontrastflüssigkeit, da sonst sich beim Patienten starker Stuhldrang meldet, der bei Undichtwerden des Schließmuskels die ganze Untersuchung erheblich stören kann. Besonders schön erscheint regelmäßig das Descendens und bei linker Seitenlage das Coecum-Ascendens, schwieriger zu übersehen ist schon das Transversum. Meist legt sich sein rechter Abschnitt dem Auftrieb folgend dem Aszendens bei linker Seitenlage an (Abb. 6), der linke Teil bei rechter Seitenlage dem Descendens (Abb. 7). Von großer Wichtigkeit ist es, mehrfach die Lage wechseln zu lassen, desgleichen empfehlenswert, den Patienten das Gesicht stets dem Arzt zuwenden zu lassen, da in dieser Lage stets der Darm dem Leuchtschirm am nächsten liegt. Die Darmlage beim stehenden Patienten ist auf Abb. 8 schematisch wiedergegeben. Das Transversum legt sich im rechten Teile der Leberunterfläche an, folgt dann der großen Kurvatur des Magens bis zum Zwerchfell. Auch in der Längsachse drehe man den Patienten hin und her, aus der dann eintretenden gegenseitigen Verschiebung sich überlagernder Darmabschnitte muß man seine Schlüsse ziehen.

Bei Rückenlage und senkrechtem Strahlenverlauf können wir bei dieser Methode keine klaren Bilder erwarten, die Güte der Bilder hängt davon ab, daß die Flüssigkeitsspiegel sich scharf abzeichnen, und das kann nur bei horizontalem Strahlengang möglich sein (Abb. 9).

Im allgemeinen soll man durch geeignete Lagerung die Flüssigkeit und Luft in dem gerade zu untersuchenden Darmabschnitt in ein Verhältnis von 1 : 5 bringen. Das gelingt meist ohne Ablassen der Flüssigkeit, da die Flüssigkeit immer sich sofort in den tiefergelegenen Schlingen sammelt, während die Luft in die hochgelegenen Abschnitte steigt. Nur für die Sigmaschlinge, manchmal auch für das Transversum ergeben sich Schwierigkeiten, insofern es schlecht gelingt, diese Schlinge durch Lagerung von der Kontrastflüssigkeit zu befreien. Dann muß eben durch Defäkation der Inhalt entleert werden.

Irgendwelche Gefahren sind bei dieser Untersuchungstechnik kaum zu befürchten, sie kann im Gegensatz zum Pneumoperitoneum ambulant durchgeführt werden. Selbstverständlich wird man bei schweren kolitischen Prozessen mit der Luftblähung vorsichtig sein und den Druck niedrighalten. — Die subjektiven Beschwerden bei der Untersuchung bestehen in Blähungsgefühl, das schmerzhaft wird, wenn starker Stuhldrang eintritt.

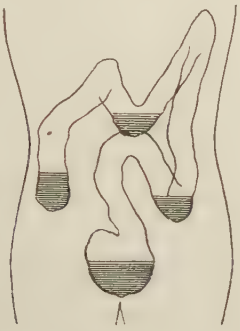


Abb. 8. Verteilung von Luft und Flüssigkeit im Stehen.

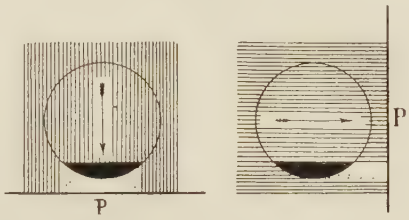


Abb. 9. Nur bei horizontalem Strahlengang gibt der Flüssigkeitsspiegel eine scharfe Kontur auf der Platte, bei senkrechtem Strahlengang verschleiert er das Darmluftfeld. — Der dicke schwarze Strich entspricht der Platte, der Pfeil entspricht der Strahlenrichtung.

Vor Aufnahmen soll man den Patienten am besten um seine Längsachse etwas hin und her schütteln oder auch ganz herum drehen, um eine völlige Benetzung der Mukosa mit der Bariumflüssigkeit und damit auf dem Bilde scharfe Konturen zu erhalten.

G. Das Pneumoperitoneum.

Die bekannte Gasfüllung der Bauchhöhle ist für die spezielle Dickdarmdiagnostik nicht von allzu hohem Werte, immerhin kann sie von Nutzen sein, besonders wenn man ihr die Gasfüllung des Darmes zufügt (Goetze im Lehrbuch Groedel).

III. Diagnostische Elemente des Dickdarmröntgenbildes.

A. Der Verlauf des Dickdarmes.

Das Röntgenbild soll uns zuerst über die allgemeine Lage des Dickdarmes, über seinen Verlauf speziell an seinen Windungspunkten unterrichten. Bei der Kontrastbreipassage gelingt es meist nicht, bereits durch eine Untersuchung einen völligen Über-

blick über den gesamten Darm zu erhalten, gewöhnlich ist dazu eine Reihe von Durchleuchtungen erforderlich. Nur wenn man eine Doppelmahlzeit verabreicht hat, erzielt man häufiger ein restloses Übersichtsbild.

Von den Miß- bzw. Hemmungsbildungen des Dickdarmes soll hier abgesehen werden, sie sind zumeist ohne Schwierigkeiten zu deuten. Wichtig ist die Kenntnis der großen Variationsbreite im Verlauf der einzelnen Schlingen bei Untersuchungen an verschiedenen Tagen. Weitgehende Unterschiede sind durch die verschiedenen Kontraktionszustände der Darmlängsmuskulatur bedingt. Dabei lassen sich grobe Verschiebungen des Darmes stets leicht deuten. Zur Erläuterung verweise ich auf das Bild eines durch einen sehr großen Senkungsabszeß nach oben verdrängten Coecum-Ascendens (Abb. 39).

Zweifellos gibt der Kontrasteinlauf uns einen wesentlich rascheren Aufschluß über die Form und Lage des Darmes, nicht leicht zu klärende Punkte bleiben hier aber ebenso wie bei der Kontrastmahlzeit die 3 Flexuren, von denen wiederum die Sigmabiegung uns die größten Schwierigkeiten verursacht. Könnte man die Flüssigkeit beliebig langsam diese Schlinge entfalten lassen, so würde man unschwer einen sicheren Überblick über den Verlauf gewinnen, leider schießt sie aber regelmäßig mit großer Geschwindigkeit in diesen Darmteil und durcheilt ihn rasch, auch wenn man sofort bei Beginn der Füllung den Irrigator senken läßt. Das hat seinen Grund in dem schon oben erwähnten Ventilverschluß zwischen der Rektalampulle und dem Sigma, der plötzlich überwunden wird, und so ist verständlich, daß in dem gleichen Augenblick, in dem sich diese Abknickung öffnet, die unter Druck stehende Flüssigkeit sich rasch in die Sigmaschlinge entleert. Ein gutes Hilfsmittel für die Erkennung des Schlingenverlaufs ist die Palpation, die aber dann versagen muß, wenn die Sigmaschlinge im kleinen Becken liegt und sich nicht durch den Druck der einlaufenden Flüssigkeit, einem wasserdurchströmtem Schlauch vergleichbar, aus ihrem Schlupfwinkel aufbäumt. Zuweilen kann man durch Beckenhochlagerung ein Herausgleiten der Sigmaschlinge aus dem kleinen Becken bewirken. — Die anderen beiden Flexuren zu beiden Seiten des Transversum sind leichter in ihrem Verlauf zu deuten. Beim stehenden Patienten oder auch im Liegen drehe man den Körper um seine Längsachse, man wird dann meistens einen besonders an der rechten Flexur ausgesprochenen Verlauf von vorn nach hinten erkennen können. Die Flexura hepatica ist ausgezeichnet der Betastung und so der manuellen Entwirrung zugänglich, während die lineale Biegung unter dem linken Rippenbogen versteckt liegt. Es ist hier aber durch Beobachtung der vordringenden Flüssigkeit ohne weiteres möglich, den sich oft mit dem Descendens überlagernden linken Transversumabschnitt zu differenzieren. Auf Platten ohne Kenntnis des Durchleuchtungsbildes — letzteres stets als Pause festhalten! — kann man meist über den Verlauf der Schlingen an den Biegungen überhaupt keine Klarheit gewinnen.

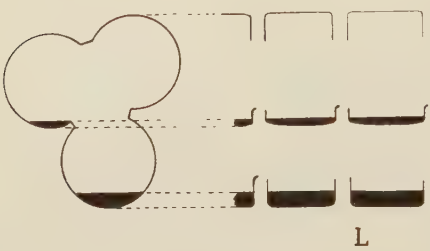


Abb. 10. Dreifache Konturierung des Coekum in Quer- und Längsschnitt.

Das allgemeine Bild bei der Luftfüllung des Darmes ist prinzipiell anders. Erst einmal kann man Schlingen, die sich überlagern, deutlich erkennen, besonders wenn man durch Erzielung des Bariummukosabeschlages das Bild kontrastreicher gemacht hat. Dann sind aber die Verhältnisse durch den Auftrieb der luftgefüllten Darmschlinge im Gegensatz zum Absinken der schweren bariumgefüllten Teile geändert. Der Auftrieb ist keineswegs gering einzuschätzen, er geschieht mit beträchtlicher Kraft; man kann ihn

sich veranschaulichen, wenn man einen luftgefüllten Fahrradschlauch unter Wasser zu drücken sucht. Die Sigmaschlinge steigt beim stehenden Patienten, diesem Auftrieb folgend, aus dem kleinen Becken heraus und wird so entfaltet, zudem der Palpation zugänglich. Eine vergleichende Beobachtung der Därme in den verschiedenen Körperlagen und die Bewertung der zu erwartenden und der beobachteten Auftriebslageänderung läßt Schlüsse über normale und pathologische Fixation des Dickdarmes zu.

B. Die Beobachtung der Darmkontur.

Im Verlaufe der systematischen Beurteilung unserer Röntgenbefunde wenden wir uns nun der Kontur zu. Als Voraussetzung dürfen wir wohl annehmen, daß jeder pathologische Wandprozeß sich auch in einer Veränderung der Konturzeichnung bemerkbar machen muß. Die so überaus wichtige schrittweise Kontrolle der Kontur gelingt nun nicht immer während der Durchleuchtung, bei korpulenten Patienten kann man trotz Anwendung der im übrigen sehr geschätzten Buckyblende oft nicht genügend deutlich die Einzelheiten erkennen. Diese Lücke läßt sich aber leicht durch Aufnahmen ausfüllen, man sollte alle verdächtigen Stellen auf die Platte bannen, dazu sind keineswegs immer große Formate notwendig, wir kommen meist für diese Zwecke mit den Größen 18×24 cm oder sogar 13×18 cm aus.

Die Begrenzung des Darmschattenfeldes soll völlig gleichmäßig sein, abgesehen von der sehr wechselnden Haustrierung. Infiltrationen der Wand müssen sich in einer unregelmäßigen Zeichnung markieren, aber umgekehrt ist nicht der Schluß erlaubt, daß jede einmal gesehene unregelmäßige Kontur mit Sicherheit eine Wandinfiltration anzeigt. Erst wenn wiederholte Untersuchungen stets das gleiche Bild ergeben, dann kann man eine solche Verlaufsdeformität als pathologisch ansehen. Die Konturunregelmäßigkeit auf einer Platte kann nur der Ausdruck eines ganz vorübergehenden Kontraktionszustandes sein, man muß also stets nochmals kontrollieren, ehe man einen schwerwiegenden Schluß zieht. Die Täuschungsmöglichkeiten sind bei den durch Kontrasteinlauf gewonnenen Bildern gering, zahlreich dagegen bei der Kontrastbreipassage. Während die dünne Flüssigkeit des Einlaufs sich der Darmwand anschmiegt, sich mit flüssigem Stuhl leicht mischt und nur zuweilen durch feste Kotpartikel in der Ausbreitung gehemmt wird, ist der Darminhalt bei der Passage knollig und fester. Hier legt sich die Darmwand nicht immer eng um die Skybala, es kann auch ein nichtkontrastsalzhaltiger Fäx sich zwischen Darmwand und die Kontrastmasse legen und so eine unregelmäßige Füllung, also eine Verzerrung der Kontur vortäuschen.

Durch die Kontrastfüllung werden nun die Darmkonturen zwar ganz außerordentlich deutlich und scharf dargestellt, man bedenke aber bei der Beurteilung immer, daß man nur einen verschwindenden Bruchteil der Darmzirkumferenz sehen kann, nur die Teile, die tangential der zum Auge gelangende Röntgenstrahl berührt. Es besteht also die Möglichkeit, Wandveränderungen, die sich nicht um die ganze Zirkumferenz erstrecken oder die nicht zufällig gerade von dem tangentialen Strahl getroffen werden, zu übersehen. Theoretisch besteht selbstverständlich die Möglichkeit, durch Drehung des Körpers die Tangentenberührungsstelle um den ganzen Darm herumlaufen zu lassen und so jede Konturstelle zu beobachten. Diese Möglichkeit kann man nun aber nicht in die Praxis umsetzen, erstens läßt sich schon der Körper in der Querachse nicht durchstrahlen, wenigstens nicht so, daß man leidlich befriedigende Bilder erhält, und dann verläuft der Dickdarm in derart vielen Wendungen, daß der Körper außer um eine Längs- und Querachse noch um zahlreiche schräge Achsen gedreht werden müßte. Man kann nun sicher mit Recht einwenden, daß derart umschriebene Wand-

veränderungen extrem selten sind und daß meist diese Veränderungen sich auf einen größeren Bezirk erstrecken, meist wohl zirkulär sind, aber es bleibt die Tatsache beachtenswert, daß aus einer guten Konturzeichnung bei Füllung des Darmes mit Kontrastsalz nicht mit absoluter Sicherheit ein pathologischer Wandprozeß ausgeschlossen werden kann. Meist wird übrigens, auch wenn der Wandprozeß noch nicht zirkulär ist, ein lokaler Spasmus uns aufmerksam machen, daß hier eine genauer zu studierende Wandstelle vorliegt.

Bei der einfachen Luftfüllung erscheint die Kontur nicht als deutliche Linie, sie ist recht verschwommen, kombiniert man dagegen nach Fischer die Luftfüllung mit einer Benetzung der Mukosa mit dem Bariumsalz, dann erhält man saubere, scharf gezogene Konturstriche. Im übrigen entspricht auch bei dieser Methode die Kontur nur dem tangential getroffenen Darmwandabschnitt. Ein Novum ist jedoch die häufig am Coecum-Ascendens beobachtete dreifache Konturierung, die man kennen muß, um sich vor irrtümlichen Verlaufsdeutungen zu schützen; sie kommt dadurch zustande, daß bei straffer Tonusspannung der 3 Längsmuskulaturtänien die Haustren sich stark ausbuchten und sich durch Flüssigkeitsreste in den Haustrenvertiefungen eine dritte Kontur ausbildet. Durch die Abb. 10 wird dieser Vorgang wohl besser als durch eine eingehende Erklärung veranschaulicht. — Die Luft füllt viel sicherer den ganzen Darm aus als die Flüssigkeit, so müssen schon geringe Abweichungen von der Norm viel eher den Verdacht auf das Bestehen eines pathologischen Wandprozesses erwecken als bei den kompakten Bariumfüllungen. Zu achten ist auch auf die Art des Konturstriches, er muß gleichmäßig sauber gezogen erscheinen; ist er unregelmäßig zackig, von verschiedener Dicke oder ausgesprochen fleckig, so weist das auf infiltrative oder ulzeröse Prozesse hin. Voraussetzung ist selbstverständlich sorgfältigste Reinigung des Darmes und Konstanz der Erscheinungen bei mehrfacher Durchleuchtung für die diagnostische Entscheidung.

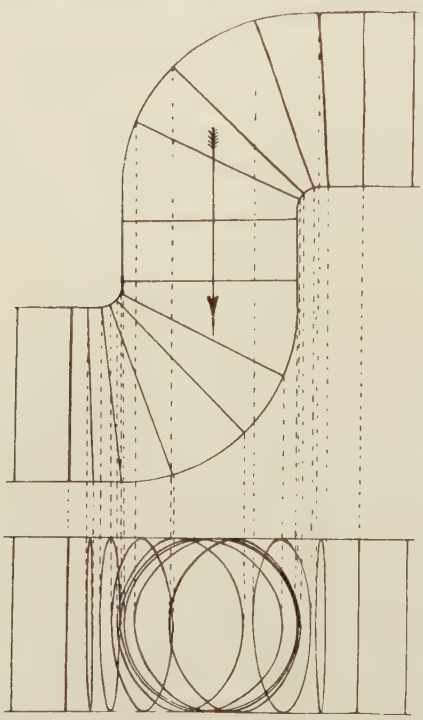


Abb. 11. S-förmig verlaufender Darm mit vielen Sulci. Projektion der Sulci in eine zur Pfeilrichtung senkrechte Ebene. (Nach A. W. Fischer, Arch. f. Chir. 134.)

Die durch die Ringmuskelkontraktionsstellen (Sulci) sich ausbauchenden Wandabschnitte (Haustren) erkennen wir bei der Bariumfüllung als klares Reliefbild. Bei Luftfüllung dagegen erscheinen die Sulci, die ja tatsächlich einen Kreis darstellen, völlig verschieden je nach der Projektionsrichtung. Die so entstehenden Figuren durchlaufen alle Stadien der Ellipse zwischen den beiden Grenzfällen Strich und Kreis. Komplizierte Überlagerungen entstehen, wenn ein stark haustrierter Darm in einer S-förmigen Biegung verläuft (Abb. 11). Die Beobachtung dieser Figuren hat insofern eine Bedeutung, als man durch Verfolgen der Sulci so die Zusammengehörigkeit der Wandkonturen mit Sicherheit feststellen kann. Je nach der Breite der Kontraktionsringe sind auch die Ellipsen verschieden breit. Nicht immer ist die Ringmuskulatur in ihrer ganzen Zir-

kumferenz erregt, man sieht also vereinzelt unvollständige elliptische Figuren, erkennt öfter auch kolbige Ausbauchungen in der Mitte der Strichführung. Das gibt dann Bilder, die durchaus verdächtig auf Polypen erscheinen können (Abb. 12). Es handelt sich hier aber, wie ich mehrfach nachprüfen konnte, offenbar nur um Ringmuskelfasern, die

Abb. 12. Kolbige Ausbuchtung in einer Ringmuskelkontraktionsfurche, die einen Polyp vortäuschen kann.

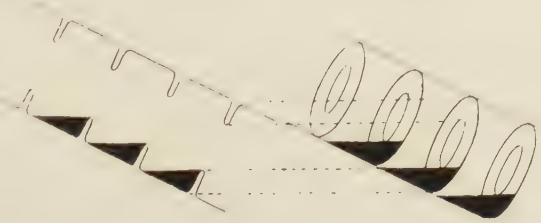


Abb. 13. Schematisches Bild eines teilweise mit Luft, teilweise mit Bariumaufschwemmung gefüllten Darmes bei rein seitlicher und bei etwas schräg seitlicher Ansicht mit Bezugslinien.

durch Tänienzug auseinandergezerrt sind. Am aufgeschnittenen Darme konnte man in allen diesen Fällen nichts Pathologisches sehen, auch war bei Füllung exstirpierter Darmstücke nie eine ähnliche Bildung zu sehen.

In den Haustren sammeln sich bei der Luft-Bariumfüllung Flüssigkeitsreste an, die wir auch diagnostisch verwenden können. Diese Reste können sich je nach dem Verlaufe des Darmes als treppen- oder leiterähnliche Bildungen darstellen. Ein schematisches Beispiel gibt die Abb. 13.

Ist der Darm nicht haustriert, wie das gewöhnlich am Descendens der Fall ist, so sieht man einen breiten Helligkeitsstreifen, der Luft entsprechend, und darunter den horizontal verlaufenden Flüssigkeitsspiegel. Die Fließrichtung der Flüssigkeiten unterliegt einfachen Gesetzen, in Betracht kommt hier meist die Regel vom Gleichstand der Niveaus in kommunizierenden Röhren, unabhängig vom Querschnitt der Röhren. Ist aber ein Schenkel verschlossen (Ventil- oder organische Stenose), dann wird die Flüssigkeit in diesem Schenkel nicht so hoch steigen wie in dem offenen Rohre (Abb. 14). In einzelnen Fällen kann man sich dieses Gesetzes erinnern, besonders wenn vor Stenosen der Darm U-förmige Schlingen bildet (Transversum!) und wir per anum im Stehen Luft einblasen. Leider durchbricht die Dehnungsfähigkeit des Darmes dies Gesetz teilweise.

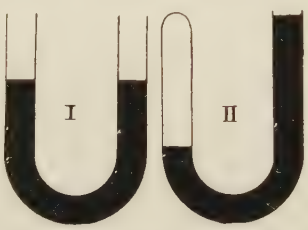


Abb. 14. Schema des Standes der Flüssigkeitsspiegel. I. in einem beiderseits offenem U-Rohr. II. in einem links geschlossenen U-Rohr nach Eingießen der Flüssigkeit in den rechten Schenkel.

C. Die Beobachtung des Darmkontrastfeldes.

Bei der Bariumfüllung erscheint das Darmlumenfeld auf der Platte als mehr oder minder helle Fläche. Stärker erfüllte Abschnitte werden ein klareres Weiß ergeben als solche, in denen das Lumen eng ist. Tumoren, die polypös in den Darm vorragen, Fremdkörper, die von der Kontrastflüssigkeit umgeben sind, werden nicht dargestellt. Vor den bei der Sichtbarkeit von Tumoren — Füllungsdefekten usw. — maßgebenden Verhältnissen soll nachher die Rede sein. Hier sei aber schon darauf hingewiesen, daß jegliche Abweichung von der gleichmäßigen Dichtigkeit registriert werden muß.

Die Luftfüllung erlaubt uns ganz im Gegensatz zu der undurchsichtigen Schwermetallsalzschicht einen klaren Überblick über das Innere des Darmes. Er erscheint plastisch durchsichtig, ähnlich einem dünnwandigen Glasrohr bei entgegenkommendem Licht; der bariumgefüllte Darm dagegen dem Anblick eines Gipsausgusses des Darmes ebenfalls bei entgegenkommendem Licht. Auch bei Luftfüllung ist auf die Schattentiefe, hier also auf den Grad der Schwärzung zu achten. Besonders intensiv wird die Schwärzung der Platte an den Stellen werden, wo ein Darmteil die gleiche Richtung wie der Röntgenstrahl hat, wo also wenig Körpergewebe, aber viel luftgefüllter Darm durchleuchtet wird. Eindrucksvoll in dieser Beziehung ist immer das Bild der Flexura hepatica, wo der Darm eine Strecke weit dorsoventral verläuft. Inhaltsmassen müssen erkennbar sein, ihre Zugehörigkeit zum Darme läßt sich dadurch erweisen, daß der den Inhalt darstellende Fleck auch bei Drehung stets im Luftfelde verbleibt. Selbst wenn sich Darmschlingen überlagern, wird ihre Beurteilbarkeit dadurch nicht gestört, im Gegenteil erhöht, weil die größeren Luftfelder ein klares Bild geben.

D. Beobachtung der Dehnungsfähigkeit des Darmes.

Ist die Darmwand starr und unnachgiebig geworden, so wird an diesem Orte der Darm vermindert dehnungsfähig erscheinen. Dies wichtige diagnostische Element kommt hauptsächlich bei der Luftfüllung des Darmes in Betracht. Wir können ohne wesentliche Beschwerden für den Kranken Luftmengen einblasen, die größer sind als die ertragbaren Flüssigkeitsmengen. Subjektiv empfinden die Patienten dabei eine Völlegefühl; wenn man beim Einblasen aber langsam vorgeht, wird man nicht durch Klagen des Kranken veranlaßt werden, die Untersuchung aufzugeben. Treten Schmerzen auf, so achte man auf ihre Lokalisation und auf die Art des Schmerzes, es lassen sich so oft wichtige Anhaltspunkte gewinnen. — Will man das Bild des etwas überdehnten Darmes beurteilen, so muß man sich der physiologischen Weiteunterschiede erinnern. Am weitesten ist das Coecum-Ascendens, von hier nimmt der Umfang dauernd ab bis zur Grenze zwischen Descendens und Sigma, das Sigma zeigt wieder größere Weite, weiter unten entspricht eine engere Stelle dem Übergang in die Ampulla recti. Es lassen sich für diese Umfänge keine bindenden Zahlen aufstellen, die Erfahrung muß entscheiden, ob man die Breite eines Darmabschnittes noch als physiologisch ansehen kann, ob man also in Sonderheit aus dem Bilde die Diagnose einer Darmerweiterung etwa als Zeichen einer tieferen Stenose stellen darf. Oft kann man das Coekum ganz außerordentlich stark gedehnt sehen, ohne daß daraus der Schluß auf einen krankhaften Prozeß gezogen werden dürfte. Für die Untersuchung ist auch die jeweilige Körperlage wichtig, denn der Auftrieb der Luft muß hier auch als Faktor in Rechnung gestellt werden. Ein luftgefülltes Coecum-Ascendens wird ganz verschiedene Bilder liefern, je nachdem wir in rechter, linker Seitenlage oder im Stehen untersuchen. Am besten wird es sich in linker Seitenlage entfalten, es bildet dann die höchste Stelle, verzerrt wird dagegen seine Form im Stehen erscheinen, da die meiste Luft sich dann an der Leberbiegung ansammelt, während die proximalen Teile an der Bauhinschen Klappe schlecht gedehnt erscheinen werden (Form der Luftkeule — Kienböck). — Die Dehnung soll uns über die Elastizität der einzelnen Darmabschnitte unterrichten, eine Beeinträchtigung der Entfaltbarkeit kann sowohl durch infiltrative Wandveränderungen als auch durch perikolitische, der Wand anliegende Prozesse, peritoneale Schwielen, Adhäsionsbildungen flächenhafter oder strangförmiger Art bewirkt werden.

IV. Kritik der einzelnen Röntgenverfahren.

Von den soeben geschilderten Methoden kommen für die Diagnose der Darmtumoren und Entzündungen im wesentlichen nur die Kontrastbreipassage, der Kontrasteinlauf und die Kombination von Einlauf und Luftfüllung in Betracht. Die reine Luft- oder Sauerstoffüllung (die Art des Gases spielt im übrigen praktisch keine Rolle) hat sich nicht bewährt, sie gibt keine genügenden Kontraste, die Wandkonturen sind undeutlich. Schwarz-Wien hält diese Methode nur für eine rasche vorläufige Orientierung über die Lage eines im Abdomen palpablen Gebildes geeignet, zur Darstellung von Formanomalien sei sie viel weniger brauchbar als der Kontrasteinlauf, einmal wegen der geringeren Deutlichkeit der Bilder, dann weil nebeneinanderliegende und sich überlagernde Schlingen zu einem schlecht differenzierbaren Gebilde verschmelzen. Schwarz meint, es gehöre das, was manche Autoren am geblähten Darm als Tumorschatten erkannt haben wollen, in das Reich der Fantasie. — Auch das Pneumoperitoneum wird nur in Ausnahmefällen für die spezielle Dickdarmdiagnostik brauchbar sein. Das Verfahren nach Laurell, den Darm aufzublähen, sobald die Kontrastbreimasse den Dickdarm erreicht hat, mag im Coecum-Ascendens brauchbare Ergebnisse zeitigen, für die tieferen Abschnitte von der Flexura hepatica an ist es sicher nutzlos, da hier der Darminhalt bereits geformt ist und das wesentliche Ziel der Kombination, der Mukosakontrastbelag, so nicht mehr erreicht werden kann.

Die Kontrastmahlzeit ist das Kardinalverfahren, wenn es gilt, über die motorische Funktion des Darmes Aufschluß zu erhalten. Stockungen im Vorrücken weisen auf Stenosen hin, aber allein auf Grund solcher Bilder hüte man sich, eine Diagnose zu stellen. Keine andere Methode bietet eine solche Fülle von Täuschungsmöglichkeiten wie gerade die Breipassage. Es gibt wohl kaum einen Röntgenologen, der nicht schon zweifelnd vor Platten gestanden hat, auf denen die Kontrastmasse Füllungsdefekte bildete oder sich spornartig in stenotische Partien zu erstrecken schien. Trotz vieler Durchleuchtungen wartet man oft vergeblich auf die Darstellung bestimmter Teile des Sigma oder Descendens. Die Unvollkommenheit dieser Methode hat sicher ein gut Teil zu der unberechtigten Unterschätzung des Röntgenverfahrens für die Erkennung der Darmtumoren beigetragen.

Mit Recht wird wohl am meisten der diagnostische Kontrasteinlauf angewandt, er wird uns in den meisten Fällen Aufschluß über unsere Fragen geben. Krause bemängelt an diesem Verfahren die zu rasche Sedimentierung des Schwermetallsalzes trotz Zusatzes von Bolus alba, dadurch solle die Einheitlichkeit des Bildes gestört werden, ein Einwand, der von anderer Seite aber nie unterschrieben worden ist. Gerade gegenüber der Passage ist es als ein großer Vorteil zu bezeichnen, daß man rasch den ganzen Dickdarm überblicken kann und nicht auf zahlreiche Einzeldurchleuchtungen zu verschiedenen Zeiten angewiesen ist.

Beide Methoden haben nach A. W. Fischer einen bemerkenswerten Nachteil trotz aller Vorzüge, das ist die Verwendung der strahlenundurchlässigen Bariummasse als Füllmittel. Wie schon vorhin gezeigt wurde, erscheint so das Darmbild nur immer als Relief, ähnlich dem Anblick eines Gipsausgusses des Darmes gegen eine helleuchtende Fläche. Tumoren, die nicht zirkulär sich ausgebreitet haben, sondern die polypös sich in das Lumen erstrecken, können von der Kontrastmasse völlig ausgelöscht werden, wenn ihre Basis gerade dem Röntgenstrahl zu- oder abgekehrt ist (Abb. 33 ff.). Überlagerungen von Schlingen lassen sich gerade in dem wichtigen Gebiete der Sigmaschlinge nicht entwirren und dort können selbst große Füllungsdefekte

durch eine andere Schlinge wegradiert werden. Die Kombination der Lufteinblasung mit der Kontrastfüllung bewahrt uns in dieser Beziehung vor Täuschungen, plastisch liegt hier das Lumen des Darmes vor uns und pathologische Veränderungen können uns dabei eigentlich kaum entgehen.

Wenn irgend möglich, soll die röntgenologische Untersuchung alle drei eben besprochenen Verfahren umfassen. Zweckmäßig beginnt man mit dem Verfolgen der einlaufenden Kontrastflüssigkeit auf dem Trochoskop, schließt dann die Insufflation von Luft an und durchleuchtet in den verschiedensten Positionen bei horizontalem Strahlengang. Wir halten es in den meisten Fällen für notwendig, auch die Passage am folgenden Tage zu beginnen.

V. Indikation zur Anwendung der Röntgenuntersuchung.

Die Röntgenuntersuchung, die sonst wohl nirgends am Körper eine strikte Gegenindikation hat, muß auf dem Gebiete des Darmkarzinoms gewisse Einschränkungen in der Anzeigestellung sich gefallen lassen.

Besteht ein kompletter Ileus, so muß selbstverständlich ohne jeden Aufschub operiert werden, eine Untersuchung über den Sitz des Hindernisses ist dann nicht angängig. Man wird allein aus den klinischen Symptomen eine ungefähre topische Diagnose stellen müssen, da auch eine Darreichung einer Kontrastmahlzeit selbst in der vorsichtigsten Form als Bariumsulfat-Wasseraufschwemmung an Stelle der kompakteren Breimasse wegen der notwendigen Beobachtungszeit unmöglich ist. Auch mit einem Kontrasteinlauf, der an sich keine Schädigung, wohl aber einen Zeitverlust bedeutet, soll man den Kranken verschonen, wenn die Operation sowieso als Eileingriff klar indiziert ist. Erst recht wird man ihm nicht eine Lufteinblasung und die dabei erforderlichen vielfachen Lagewechsel zumuten.

Wir wissen, daß beim tiefen Sitz des Hindernisses infolge der Gasblähung des Ascendens und Descendens sich das Bild der Flankenauftreibung entwickelt, daß beim Dünndarmileus der Sitz der Auftreibung mehr der Mitte des Bauches entspricht, wie das die Bilder Nothnagels zeigen (Abb. 15 u. 16). Kloiber hat diese beiden Gruppen von Ileusfällen, die hoch- und tiefsitzenden Dickdarmtumoren entsprechen, auch röntgenologisch unterschieden. Er stellt den Patienten rasch vor der Operation vor die Röhre und macht ohne irgendeine Kontrastfüllung, sei es Luft oder ein Schwermetallsalz, eine Aufnahme. Das sich in solchen Fällen infolge von Gärungs- und Verflüssigungsprozessen stets findende Gas sammelt sich überall an den höchsten Stellen an und bewirkt so das Erscheinen von Flüssigkeitsspiegeln. Beim Dünndarmileus, wie er bei Stenose an der Valvula ileocoecalis oder nach ihrer Insuffizienz auch bei Stenose der weiter abwärts liegenden Darmabschnitte sich entwickeln kann, findet man verstreut über den ganzen Bauchraum zahlreiche kleine Flüssigkeitsspiegel mit Gasblasen unter Bevorzugung der Wirbelsäulengegend. Die Gasblasen sind mehr breit als hoch und sind durch glatte Bogenlinien begrenzt, die sehr oft die für Kerkringsche Falten typische Fiederung erkennen lassen. Beim tiefsitzenden Dickdarmileus ist die Begrenzung der Gasblasen nach Kloiber unregelmäßig, sie zeigen haustrale Einkerbungen und bei der Größe der Gasansammlung in dem weiten Dickdarm ist die Aufhellung des ganzen Bauchfeldes viel intensiver. Die Abb. 17 u. 18 zeigen uns je ein typisches Bild von Dünndarm- und Dickdarmileus.

Wir sehen, daß die kompletten Ileusfälle nur in sehr beschränktem Maße der Röntgen-

untersuchung unterzogen werden können. Die Wahl des Operationsschnittes ist vom Sitze des Hindernisses kaum abhängig. Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, in

Abb. 15. Äußerer Anblick des Bauches bei tiefer Stenose (Flex. lienalis) nach Nothnagel (Tafel IX).

Abb. 16. Äußerer Anblick des Bauches bei Dünndarmstenose (Coekalklappe) nach Nothnagel (Tafel XI).

solchen Situationen das Abdomen unterhalb des Nabels in der Mittellinie zu eröffnen, weil von dort aus sich am besten jede Stelle des Darmes palpieren läßt. Also entfällt auch in diesem Sinne eine Indikation zur Röntgeninspektion.

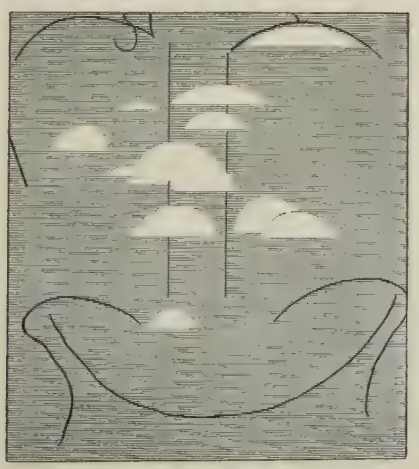


Abb. 17. Aufnahme eines tiefen Dickdarmileus nach Kloiber.

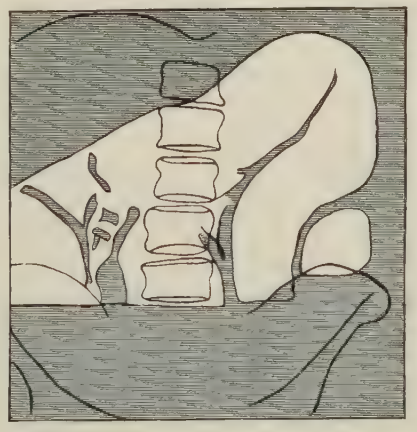


Abb. 18. Aufnahme eines hohen Dickdarmileus (Ileocoekalklappe) nach Kloiber.

Aber auch jene Fälle, die noch keinen manifesten Ileus haben, aber doch mehr oder minder ausgeprägte Stenosesymptome, können nicht ohne Einschränkung röntgenologisch untersucht werden. Hat die Stenosierung einmal höhere Grade: tagelange Stuhlverhaltungen und Attacken von Subileus mit Erbrechen erreicht, so wird man von der Darreichung einer Kontrastmahlzeit Abstand nehmen müssen. Denn die Erfahrung hat gezeigt, daß sich das Kontrastsalz häufig mit den übrigen Nahrungsbestandteilen zu steinharten Ballen formt. Diese Skybala können ventilstöpselartig eine noch inkomplette Stenose in eine vollständige verwandeln. Wir kennen derartige Verhältnisse aus der Pathologie, wo Obstkerne diese Rolle gespielt haben. Jeder Röntgenarzt hat Fälle gesehen, wo bei sonst gesunden Leuten der Kontrastbrei sich zu derart harten Brocken dicht vor dem Anus verdichtet hatte, daß eine digitale Ausräumung notwendig wurde. Wenn man sich mit dem Trinkenlassen der einfachen Barium-Wasseraufschwemmung begnügt, kommen derart unangenehme Ereignisse seltener vor. Ich habe diese Methode vielfach angewandt und kann nur sagen, daß sie in derselben Weise die Untersuchung ermöglicht wie die Originalmahlzeit. — Regeln über diejenigen Fälle aufzustellen, in denen eine Kontrastpassage noch erlaubt ist, ist schlecht möglich, wiederum entscheidet hier wie so oft die persönliche Erfahrung. Sicher ist es jedoch ungerechtfertigt, wollte man bei jeder Stenose kurzerhand eine Kontrastbreipassage als zu gefährlich ablehnen.

Die Schwierigkeiten der Diagnostik liegen aber nicht bei jenen Fällen von Ileus oder von Stenosen manifesten Grades. Diese Fälle wird man ohne viel Mühe klinisch klären können. Jene große Gruppe der Verdachtsfälle ist es, die intensivste diagnostische Arbeit verlangt. Jene Typen von Patienten in vorgerücktem Alter, die über allerhand unbestimmte Sensationen im Bauche klagen, die eine leichte Konstipation aufweisen, die auf starke Darmgeräusche aufmerksam machen, die manchmal angeblich Blut- und Schleimabgang bemerkt haben usw., kurz Leute, die nach der Art ihrer Beschwerden ein beginnendes Darmkarzinom haben könnten, die bilden das Gros unserer Untersuchungen. In diesen Fällen sehen wir oft auch undeutliche, tageweis wechselnde Resistenzen, Gewichtsabnahme u. a. m.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Mehrzahl dieser Untersuchungen negativ ausfallen wird, und da der Röntgenologe sich verständlicherweise über schöne positive Bilder am meisten freut, unterschätzt er vielleicht den hohen Wert einer beweisend negativen Untersuchung. Meist sind die klinischen sonstigen Methoden bereits erschöpft, ohne daß eine sichere Klärung zu erzielen gewesen ist, und von der Röntgenuntersuchung hängt es dann ab, ob die Indikation zum ultimum refugium, zur diagnostischen Laparotomie gestellt werden soll oder nicht.

Dem Röntgenarzte ist hier eine sehr große Verantwortung in die Hand gegeben, größer wohl als in irgendeinem anderen Gebiete der Röntgenologie mit Ausnahme der Magendiagnostik. Er wird seine Entscheidung nicht ganz allein von dem Röntgenbefund abhängig machen können, sondern wird stets auch die klinischen Symptome gebührend beachten müssen. Der Entschluß ist aber meist in seine Hand gelegt: Wenn er das Bestehen eines Tumors mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ablehnt, wird auch der Chirurg sich nicht zu einem Eingriff entschließen. Die jetzige Durchbildung unserer Methoden läßt die Zahl der Fälle immer geringer werden, wo auch durch das Röntgenverfahren eine einwandfreie Klärung solcher Verdachtsfälle nicht zu erreichen ist.

VI. Klinisch-Statistisches über Darmtumoren.

Das Kolonkarzinom befällt im allgemeinen ein etwas niedrigeres Lebensalter als das Rektumkarzinom. Auffällig häufig sind jüngere Individuen vom Krebse des aufsteigenden Dickdarmes ergriffen. Im allgemeinen kann man sagen, daß der Darmkrebs meist das 4. Jahrzehnt, das Rektumkarzinom das 5. Jahrzehnt bevorzugt. Der Röntgenarzt soll aber keinesfalls das Alter des Patienten zu weitgehend in seinen diagnostischen Erwägungen verwerten und etwa aus dem jugendlichen Alter einen Tumorbefund im entzündlich-tuberkulösen Sinne deuten. Wir sahen kürzlich zwei bedauerliche Fälle von Karzinom, die mit der Diagnose Tuberkulose des Coekum unter der Hand des Arztes inoperabel wurden. Die Fehldiagnose war in erster Linie durch die falsche Altersbewertung zustande gekommen.

Sammelstatistiken über die malignen Tumoren des Magen-Darmkanals zeigen in etwa 21 % den Magen, in 0,1 % den Dünndarm, nur in 1,1 % den Dickdarm und in 6 % das Rektum betroffen (Zahlen aus Hb. prakt. Chir. Kausch). Das Kolon selbst ist keineswegs in seinen einzelnen Abschnitten in gleicher Häufigkeit von Tumor befallen, besonders bevorzugt sind die Stellen, die am meisten mechanischen Schädigungen ausgesetzt sind, die Flexuren, die physiologisch engen Stellen am Colon pelvinum und Descendensfußpunkt, die Bauhinsche Klappe und das durch den langen Kotaufenthalt chemischen Reizen stark ausgesetzte Coecum-Ascendens. Unter Zugrundelegung der Statistiken von Anschütz und Körte ergeben sich folgende Zahlen (377 Fälle):

Coecum-Ascendens, Flexura hepatica	32,6 %
Transversum	9,5 %
Flexura lienalis, Descendens	14,1 %
Sigma	43,8 %

Unser eigenes, aus der Frankfurter chirurgischen Klinik stammendes Material umfaßt 72 Karzinomfälle. Bezüglich des relativen Beteiligung der einzelnen Kolonabschnitte kommen wir zu ähnlichen Zahlen:

Coecum-Ascendens, Flexura hepatica	26 = 36,1 %
Transversum	7 = 9,7 %
Flexura lienalis, Descendens	15 = 20,8 %
Sigma	24 = 33,4 %

Im gleichen Zeitraume sahen wir 25 entzündliche Geschwülste, darunter 14 mal Tuberkulose, 2 mal Aktinomykose.

Von all diesen Fällen entfällt aber nur ein Teil für die röntgenologische Untersuchung. Die Mehrzahl befindet sich im Ileus und wird somit nicht durchleuchtet. Diese Zahlen geben jedoch insofern ein falsches Bild, als hier die große Menge der Verdachtsfälle, die ein Vielfaches der sich späterhin als positiv erweisenden Untersuchungen beträgt, nicht einbegriffen sind.

Das ganze Rüstzeug der diagnostischen Hilfsmittel der Klinik: die Beurteilung der Anamnese, der Befund okkulten Blutes usw. muß hier außerhalb des Rahmens der Besprechung bleiben. Der Röntgenologe soll aber stets bei der Untersuchung über das Ergebnis der klinischen diagnostischen Methoden unterrichtet sein.

VII. Zur pathologischen Anatomie der Dickdarmtumoren.

Die Röntgenologie ist eine exquisit empirische Arbeitsmethode. Die diagnostischen Elemente ergeben sich aus dem Vergleich des geschauten oder photographierten Bildes mit dem pathologisch-anatomischen Befunde des exstirpierten oder durch Obduktion gewonnenen Krankheitsherdes. Nur dann wird unser diagnostisches Gebäude immer gut fundiert bleiben, wenn wir dauernd unsere röntgenologischen Befunde direkt durch die Autopsia in vivo aut in mortuo am Organ nachkontrollieren. Nur bei dieser Arbeitsweise sind persönliche Schulung und Erfahrungsfortschritte möglich. Alle eigenen Fälle, die in der vorliegenden Übersicht noch erörtert werden sollen, sind restlos operativ oder durch Sektion bestätigt, es ist strikte vermieden, Bilder zu bringen, die diese Voraussetzung nicht erfüllen.

Da, wie gesagt, die Vorbedingung für das Verständnis der Röntgenbilder die genaue Kenntnis der pathologisch-anatomischen Veränderungen ist, sei hier ein ganz kurzer Abriß der in Betracht kommenden Krankheitszustände angefügt.

Zu dem großen Gebiete der Dickdarmtumoren gehören:

A. Die Tumoren im engeren Sinne.

1 Bösartige Tumoren.

a) Karzinome.

Die Krebse teilen wir nach ihrem morphologischen Verhalten in:

Szirrhöse Formen, d. h. Tumoren, die relativ arm an Karzinomzellen sind, bei denen dagegen das Bindegewebe überwiegt, manchmal in derart starkem Maße, daß kaum

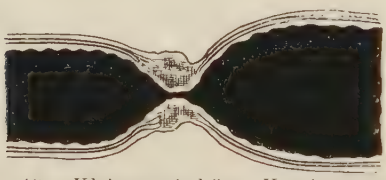


Abb. 19. Kleines szirrhöses Karzinom mit zentraler Dilatation des Darmes.

Abb. 20. Breitbasig-polypöser Tumor mit Wandinfiltration am Tumorstiel.

epitheliale Zellen sichtbar sind. Der Typ ist der kleine siegelring- oder serviettenring förmige Krebs, der eine besondere Vorliebe für das Colon pelvinum und Sigma hat (Abb. 19). Im Beginn stellt diese Wucherung nur eine kleine plattenförmige Infiltration der Darmwand dar, infolge der narbigen Kontraktion bildet sich bald eine Stenose aus. Da klinisch in den Anfangsstadien weder Blut noch Schleimabgang vorhanden sind, wird die Diagnose meist erst dann gestellt, wenn die sich entwickelnde Stenose manifest ist. Auch dann ist der Tumor meist noch sehr klein, die fühlbare Geschwulst besteht in diesen Fällen meist aus verhärteten Kotballen, die sich oberhalb der Verengerung angesammelt haben.

Polypöse Formen. Der einfache Polyp bedeutet ein überaus wichtiges Vorstadium des Krebses, besonders bekannt ist der regelmäßige Übergang in Karzinom bei der diffusen Polyposis coli. Wir kennen alle Übergänge vom gestielten Polyp zum polypösen Karzinom. Das Wachstum beginnt zuerst im Stiel, der Polyp verliert seine schlanke

Form, wird breit und plump (Abb. 20), Ernährungsstörungen führen oft zur Nekrotisierung der peripheren Abschnitte. So entstehen breitbasige, manchmal treffend mit Blumenkohl verglichene Gewächse, die sich weich anfühlen, die Wand in der Umgebung so gut wie gar nicht infiltrieren, dagegen Neigung zu frühzeitigem Einbruch in das Lymphsystem haben. Durch Abstoßen der nekrotisch gewordenen produktiven Teile

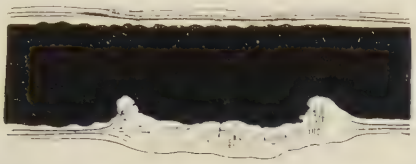


Abb. 21. Tellerförmiges, nicht stenosierendes Karzinom.

kann auch aus der ursprünglich polypösen Form ein flaches karzinomatöses Geschwür sich entwickeln.

Die Formen des „gewöhnlichen" Krebses (Carcinoma simplex). Dies Gewächs steht etwa in der Mitte zwischen den szirrhösen und polypösen Formen und stellt den häufigsten Typ der Darmkarzinome dar. Bald ist es tellerförmig (Abb. 21), bald zirkulär gürtelartig, hat einen mehr oder minder tiefen Geschwürsboden und erhabene verhärtete Ränder. Die Wandumgebung ist meist infiltriert, die Binde-

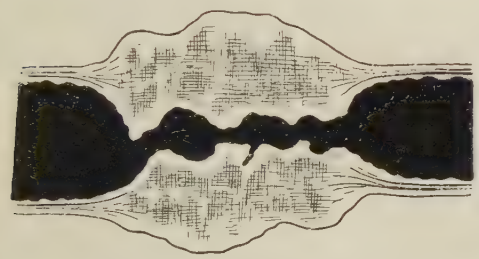


Abb. 22. Zirkuläres Karzinom. (Mischform.)

Abb. 23. Lipom an der Ileocoekalklappe. (Ursache eines Invaginationsfalles.)

gewebsentwicklung tritt aber gegen die Zellwucherung in den Hintergrund. — Auf die Unterformen (Carcinoma gelatinosum usw.) soll hier nicht eingegangen werden.

Es gibt nun oft Karzinome, die sich schlecht in eine der 3 Schemen einreihen lassen, meist sind das Übergangsformen, die die Charaktere mehrerer Gruppen in sich vereinigen (Abb. 22).

b) Sarkome.

Von den malignen Tumoren der Bindesubstanzgruppe spielen hier eigentlich nur die Sarkome eine Rolle, auch sie sind selten, wir verfügen über 1 Fall. Auch nach Art eines malignen Tumors sich entwickelnde Ganglioneurome kommen zur Beobachtung (Coekalgegend).

2. Gutartige Tumoren.

Auch die gutartigen Geschwülste sind große Seltenheiten, von diesen wiederum sind am häufigsten Lipome beobachtet. Ein typisches Lipom ist in Abb. 23 (eigener Fall) wiedergegeben. (Lit. Voeckler.)

B. Die tumorbildenden Kolonentzündungen.

1. Spezifische Entzündungen.

a) Tuberkulose.

Ein festumrissenes Bild stellt der tuberkulöse Tumor des Colon ascendens und des Coekum dar (Abb. 24). Ebenso wie bei Beurteilung tuberkulöser Prozesse unterscheiden wir am Darm eine produktiv-zirrhotische, von einer exsudativ-ulzerösen, ohne Schwielenbildung einhergehenden Form. Die Tuberkulose des Coecum-Ascendens tritt ebenfalls in diesen 2 Erscheinungsarten auf. Entweder sehen wir ausgedehnte Geschwüre im Dünn- und Dickdarm ohne wesentliche Bindegewebsentwicklung in der Wand oder die Produktion von Bindegewebe steht im Vordergrunde, so daß große harte, knollige Tumoren sich entwickeln. Bei dieser hyperplastischen Form sind die geschwürigen Veränderungen der Mukosa oft nur gering ausgeprägt; daß sie aber ganz fehlen, ist doch entschieden eine sehr große Seltenheit. Dann handelt es sich wohl meist um tuberkulöse produktive Peritonitisformen. Man hat die Tuberkulose des Darmes in subseröse, submuköse und muköse Formen zu scheiden versucht, meist liegt sicher eine Kombination aller 3 Formen vor. Daß die Schleimhaut völlig frei von Geschwüren sein kann, wenn eine tuberkulöse Peritonitis von außen her den Darm in Schwielen einbettet, ist selbstverständlich, auch ich kann einen solchen röntgenologisch beobachteten Fall beitragen (siehe S. 55). Die tuberkulösen Coekaltumoren lassen sich genetisch vielleicht durch das längere Verweilen tuberkel-

Abb. 24. Tuberkulös produktiv-zirrhotische Entzündung im Coekum (1) und an der Flexura hepatica (2). Auch der Dünndarm ist erkrankt (3). Resektionspräparat.

bazillenhaltigen Stuhles gerade an dieser Stelle erklären. Natürlich ist auch die hämatogene und lymphogene Entstehung denkbar. — Bei weitem am häufigsten ist die tumorbildende Darmtuberkulose im Coecum-Ascendens bei mehr und minder starker Beteiligung des Ileum lokalisiert, aber auch die anderen Teile des Dickdarmes können Sitz dieser Krankheit sein. Nach Fenwick und Dodwell (Brunner) ist in 85% aller Fälle von Darmtuberkulose die Ileocoekalgegend beteiligt, in 9,6% stellt diese Gegend überhaupt den einzigen Sitz der Erkrankung dar. Küttner beschrieb dagegen 4 Fälle von isoliertem tuberkulösen Tumor des Colon ascendens bei gesundem Coekum, die er in der kurzen Zeit von 1½ Jahren zu beobachten Gelegenheit hatte. Aber auch über das Transversum und die Sigmaschlinge ist verschiedentlich als Sitz der Darmtuberkulose berichtet worden. (Holland, König, Esmarch, Hugel, Edgar, v. Eiselsberg, Czerny, Lit. Brunner.) Wenn auch manche dieser Fälle nicht ganz einwandfrei sind, weil die Obduktion oder Exstirpatuntersuchung fehlt, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, daß in seltenen Fällen die Tuberkulose auch an anderen Teilen des Dickdarmes sich ausbreiten kann.

Meist wird man bei der Eröffnung der Bauchhöhle den Tumor als produktiv tuberkulös ansprechen können, namentlich wenn an der Oberfläche sich die typischen Knötchen der Serosatuberkulose zeigen oder wenn zahlreiche ohne weiteres als tuberkulös erkennbare verkäste Drüsen vorhanden sind. Nicht immer ist jedoch aus dem makroskopischen Verhalten die Diagnose zu stellen, es bleiben Fälle, die sich erst mikroskopisch klären lassen.

Abb. 25. Sigmoiditis + Proctitis luica. Amputationspräparat. Röhrenförmiger starrer Kanal.

b) Lues.

In seltenen Fällen ist eine Lues des Darmes beschrieben worden: meist war der Dünndarm, weniger häufig der Dickdarm befallen (7 : 3 Rieder). Mikroskopisch handelt es sich um gummöse Infiltration der Darmwand mit zentralem geschwürigen Zerfall. Dabei ist die Darmwand diffus plattenförmig verdickt, bei Perforationen kann es zu Abkapselung und dadurch zu Tumorbildung kommen. Der Prozeß kann sich recht weit ausdehnen, so daß längere Abschnitte stenotisch werden (Abb. 25). Nach eigenen Beobachtungen saß die Erkrankung überwiegend häufig im Sigma, war dann oft kombiniert mit der Lues des Rektum. In diesen Fällen war das Sigma in ein starres verengtes

Rohr verwandelt, die Wand zeigte eine diffuse interstitielle Infiltration gummösen Charakters. Von anderer Seite wurde tumorbildende Lues an der Coekalklappe beschrieben (Vautrin), Groß teilt Fälle von Lues des Aszendens und Transversum mit, das Descendens oder die Flexur sahen erkrankt Borchard, Rotter, Kümmel u. a. (Lit. bei Brunner).

c) Aktinomykose.

Der Aktinomycespilz gelangt meist durch den Magen-Darmkanal in den menschlichen Körper. Die bevorzugte Ansiedlungsstelle ist die Coekalgegend, pathologisch-anatomisch ist es eine destruierende parenchymatöse Entzündung der Darmwand, die zur Verlötung mit der Umgebung und zu Mischinfektionfistelbildung führt. Bei Beteiligung des Netzes nach Durchwandern der Darmwand können sich riesige Tumoren ausbilden, die weithin mit der Bauchwand verwachsen. Eine seltene Form dieser Krankheit hat uns Hofmeister mitgeteilt, der er den Namen des intramuralen Aktinomykoms gegeben hat. In dem Falle Hofmeister, bei dem eine Geschwulst der Vorderseite des Coekum aufsaß, es umgriff und erheblich stenosierte, ist die starke Bindegewebsabkapselung ohne Fistelbildung charakteristisch. Der Tumor war derb elastisch, die Schnittfläche erinnerte an ein derbes Fibrosarkom, der Wurmfortsatz war ganz in dem Tumor aufgegangen, in seiner Umgebung fanden sich kleine Abszeßchen mit makroskopisch unauffälligem rahmigen Eiter. Erst sehr sorgfältige Untersuchungen ergaben die Diagnose Aktinomykose. In anderen Tumorfällen der Coekalgegend von Wolff, Regnier usw. waren meist auch die Bauchdecken beteiligt, die Schleimhaut zeigte in derartigen Fällen keine Geschwürsbildung.

Vereinzelt sind auch die übrigen Dickdarmteile als Sitz von Aktinomykose beobachtet (Lit. Brunner). So beschrieb König eine durch Aktinomykose verursachte Stenosierung des Sigma ebenfalls bei völlig erhaltener Schleimhaut.

d) Sonstige Tumorbildungen auf Grund spezifischer Entzündungen.

Daß auch noch andere Infektionen Tumorbildungen am Dickdarme verursachen können, ist wohlbekannt. Besonders erwähnenswert ist da die heimische und tropische Dysenterie, die in vereinzelten Fällen zur Ausbildung perikolitischer Tumoren, wohl im Anschluß an gedeckte Perforationen führen kann (Lit. Tietze, Bird, Fischer, Rotter). Weiter wäre der Vollständigkeit halber noch der Milzbrand des Darmes (Stoeber) und die Bilharziakrankheit zu nennen, denen aber eine praktische Bedeutung bei ihrer Seltenheit nicht zukommt. Auch der Typhus kann in Betracht kommen (Typhusstenose an der Flexura lienalis, Riese).

2. Die unspezifischen Entzündungen.

a) Einfach entzündliche Tumoren mit und ohne Kolitis in der Anamnese.

Wie schon vorhin erwähnt wurde, kann die echte Ruhr zu perikolitischen Geschwulstbildungen Veranlassung geben. Dieser Vorgang kann sich aber auch an einfache und schwerere Dickdarmentzündungen (Colitis simplex oder ulcerosa) anschließen. Darmwandphlegmonen, etwa nach Verletzungen durch Fremdkörper, können sicher hierbei auch eine Rolle spielen. Ob bei all diesen Prozessen eine fibroplastische Disposition des Individuums anzunehmen ist, mag dahingestellt bleiben. Die Schwielenentwicklung liegt teils in der Wand, teils ist die Geschwulst durch Bindegewebswucherung in den Appendices epiploicae oder im anhaftenden Netz bzw. Mesenterium bedingt.

Ursache für diese Bindegewebsproduktion ist ein entzündlicher oder toxischer Reiz, ausgehend von Bakterien, die die geschädigte Darmwand passiert haben, oder von einer kleinen Perforation eines Geschwüres. Diese perikolitischen Tumoren, auch Pseudotumoren genannt, sehen wir an allen Teilen des Dickdarmes, mit Vorliebe am Coecum-Ascendens und an der Sigmaschlinge. Sudeck sah sie 5mal am Coecum-Ascendens, 1mal an der Flexura, lienalis 7mal am Sigma. Nicht gemeint sind hier Prozesse, die irgendwie mit Appendizitis oder mit Divertikeln zusammenhängen. Bei diesen perikolitischen Tumoren finden wir manchmal die Mukosa völlig intakt, das Lumen aber mehr oder minder verengert. Auch bei eröffneter Bauchhöhle ist die Differentialdiagnose gegen einen malignen Tumor recht schwer, zuweilen wohl unter Benutzung klinischer Symptome, zu stellen, oft aber erst mikroskopisch zu klären. Auch wenn in solchen Tumoren, wie das zuweilen beobachtet wird (Mandel, Koliabszesse bei Pericolitis descendens), Abszesse entdeckt werden, so spricht das noch keineswegs mit Sicherheit für eine rein entzündliche Genese und gegen Karzinom, denn auch die malignen Tumoren sind nicht selten mit Abszeßbildung vergesellschaftet (Goldschmidt-Wien).

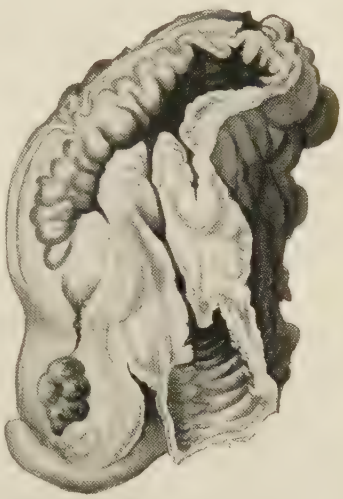


Abb. 26. Appendicitis fibroplastica. (Pseudotumor.) Nach Laewen.

Wir selbst sahen einen solchen Tumor am Sigma, sein Röntgenbild (Abb. 134) wird später besprochen werden, der makroskopisch, d. h. bei Betrachtung von außen bei der Laparotomie als sicheres Karzinom angesprochen wurde und nachher histologisch sich als tumorartige Bindegewebsproliferation in der Darmwand in der Umgebung eines solitären unspezifischen Geschwürs von Markstückgröße erwies. Vielfach ist anderseits über ähnliche Fälle berichtet (Goto, Tietze Lit.), bei denen sich Geschwulstbildungen an Sigmoiditis angeschlossen haben. Als erster, der über diese Pseudotumoren am Darm in Deutschland Mitteilungen gegeben hat, muß H. Braun erwähnt werden (1908). — Der Braunsche Tumor saß auch an der Sigmaschlinge, er nahm nur einen Teil der Wand ein und rezidivierte nach unvollkommener Operation, histologisch bestand er aus entzündlichem Gewebe ohne spezifischen Charakter. Ähnliche Fälle hatten schon vor Braun, Virchow, Körte, Schnitzler mitgeteilt, ohne aber damit einen neuen Krankheitsbegriff fest zu umreißen.

b) Fibroplastische Appendizitis (Parametritis).

Die akute Appendizitis mit Abszeß bildet einen fühlbaren Tumor, der sich aus dem Eiterherd und dem ihn umgebenden Netzwall zusammensetzt. Nicht immer verläuft diese Abszeßbildung mit den bekannten stürmischen Erscheinungen. Oft bildet sich dieser Zustand ganz langsam aus, so langsam sogar, daß er sich über Wochen und Monate hinzieht und klinisch kaum bemerkbar wird, bis ein fühlbarer mäßig oder gar nicht schmerzhafter Tumor der rechten Unterbauchgegend dem Patienten selbst auffällt. Pathologisch-anatomisch stellen sich diese Tumoren wie alle entzündlichen „Pseudotumoren“ des Dickdarmes als riesige Bindegewebsanhäufungen dar, die in ihrer Mitte den entzündeten Wurmfortsatz mit oder ohne zentralen Abszeß erkennen lassen. Man kann sich der Vorstellung nicht erwehren, daß in diesen Fällen eine besondere fibroplastische Diathese vorliegt, die zu solchen ungewöhnlich starken Bindegewebsproliferationen

führt. Natürlich kann man auch an eine besondere Art von Bakterientoxinen denken. Die Tumoren umfassen meist das ganze Coekum und die Bauhinsche Klappe, ähneln wiederum ganz außerordentlich bei der Inspektion von der Serosaseite her den Karzinomen und der Tuberkulose, ihre wahre Ätiologie wird erst klar beim Aufschneiden des exstirpierten Präparates. Aber es gibt auch Fälle, die mehr den Ascendenstumoren gleichen, wenn nämlich ein nach oben geschlagener Wurmfortsatz in seinem peripheren Teile einen Abszeß gebildet hat, der der Wand des Ascendens anliegt und diese umklammert. — Die seltenen Karzinoide der Appendix kommen als makroskopisch in dieser Gegend fühlbare Tumoren kaum in Betracht. Die gleiche Bedeutung wie die Appendizitis kann an dieser Stelle auch ein einfaches Ulkus, das hier mehrfach beobachtete Ulcus simplex coli haben. Als Typ dieser Appendicitis-fibroplastica-Tumoren kann wohl der Laewensche Fall gelten, dessen Resektionspräparat ich auf Abb. 26 wieder-

Abb. 27. Multiple Divertikel in einer Sigmaschlinge, als dunkle Flecke erkennbar ↑↑. (Leichenpräparat.)

gegeben habe. Im mikroskopischen Bilde zeigte sich auch in diesem Präparat eine entzündliche Bindegewebshyperplasie.

In ganz gleicher Weise können Entzündungen der weiblichen Sexualorgane zur Ausbildung von Pseudotumoren führen. Parametritische Abszesse haben vielfach die Ursache entzündlicher, aus Darm, Netz und Schwielengewebe bestehender Tumoren abgegeben.

c) Divertikulitistumoren.

Graser sah an der Übergangsstelle des Sigma in das Rektum eine hochgradige Stenose, durch die man eben noch eine dicke Sonde hindurchzwängen konnte, die zentralen Darmteile waren hochgradig erweitert. An der Stenosestelle war die Darmwand auf etwa das Fünffache verdickt, zuerst imponierte diese Verdickung als Krebs, aber die genauere Untersuchung zeigte, daß die Schleimhaut völlig intakt war und daß die ganze Geschwulst von einer großen Unzahl von Darmdivertikeln durchsetzt war. Die Divertikel gehen an anderen Stellen in die Appendices epiploicae handschuhfingerförmig hinein, sie sind bis zu 2 Zentimeter lang (Abb. 27). Diese Divertikel haben nur an ihrer

Basis eine muskuläre Umhüllung, während an der Spitze nur Schleimhaut und Serosa angetroffen wird. Ich habe auf einigen schematischen Zeichnungen den Vorgang, wie er allmählich zur Stenose führt, darzustellen gesucht (Abb. 28—31). In solchen Diver-

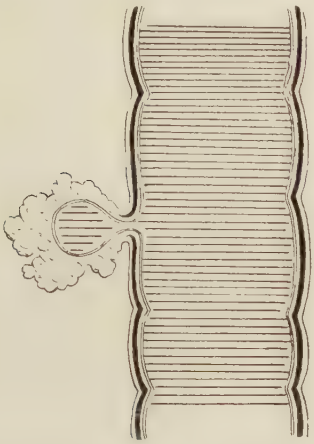


Abb. 28. Schematische Darstellung eines Darmdivertikels, das in einen Fettanhang sich ausstülpt.

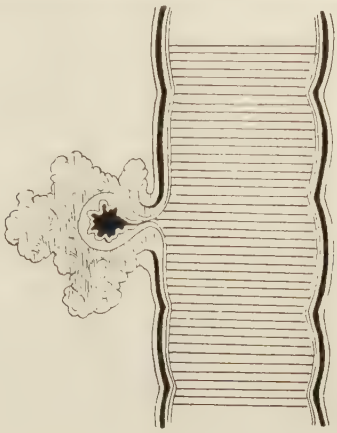


Abb. 29. Im Divertikel stagniert Kot, die Schleimhaut ist geschwollen, ein entzündliches Ödem durchtränkt das umgebende Fett. — Durch die Schwellung der Mukosa ist die Verbindung des Divertikellumens mit der Darmlichtung unterbrochen.

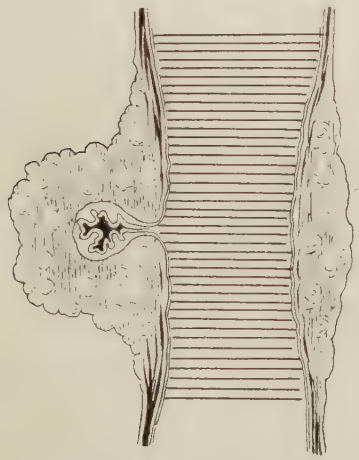


Abb. 30. Der Prozeß hat allmählich zu einer Bindegewebsproliferation in Fettgewebe und Darmwand geführt. Narbige Schrumpfungsprozesse umgeben zirkulär den Darm und beginnen ihn zu verengen.

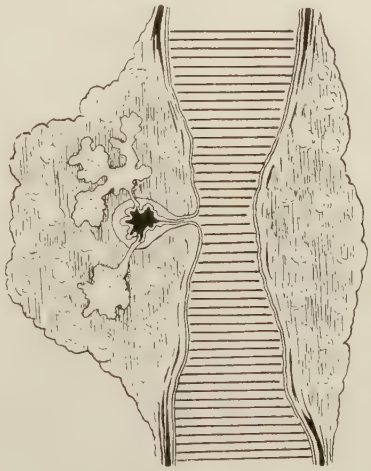


Abb. 31. Die Mukosa des Divertikels ist geschwürig zerstört. Da der Eiter keinen Abfluß in den Darm hat, ist er an mehreren Stellen durch die Divertikelwand in die Umgebung perforiert und hat sich ausgebreitet, die Bindegewebsneubildung und die schrumpfenden Prozesse haben weiter zugenommen, der Darm ist beträchtlich stenosiert.

tikeln sind alle Bedingungen für eine Schleimhautschädigung durch liegenbleibende Kotbröckel gegeben. Sobald eine Entzündung der Mukosa sich ausbildet, kommt es zu einem Ödem der Schleimhaut. Durch das Ödem entsteht ein völliger Abschluß gegen das Darmlumen. Der weitere Verlauf ist dann leicht zu ersehen, Eiterbildung in dem

abgeschlossenen Raume, Perforation der Mukosa an Stelle eines Wandgeschwürs in das Fett des Appendix epiploicus hinein. Ist die Entzündung sehr akut, so kann eine akute Peritonitis nach Durchbruch in die freie Bauchhöhle die Folge sein. Meist aber ist der Verlauf weniger hitzig, allmählich bildet der Körper um diesen Entzündungsherd herum einen großen Schwielenmantel. Dieser entsteht nicht allein am Orte des entzündeten Divertikels, sondern auch zirkulär um den Darm herum, so daß bei den später stets einsetzenden Schrumpfungsvorgängen das Lumen abgedrosselt wird.

Die Literatur über dies Kapitel ist sehr groß. Jeder Chirurg verfügt über solche Fälle, die schon nichts Besonderes mehr bilden und deshalb auch nicht mehr veröffentlicht werden. (Lit. Tietze, Eisenberg, Franke, de Quervain). Wichtig dürfte die Beobachtung sein, daß in einzelnen, allerdings sehr seltenen Fällen Divertikel auch an allen andern Teilen des Dickdarmes beobachtet sind.

C. Durch Invagination bedingte Tumoren.

Ein Darmteil kann in den anderen entweder locker oder straff invaginiert sein. Die konstante straffe Invagination führt immer zu Ileuserscheinungen, während die lockere Invagination Jahre hindurch bei erhaltener Passage bestehen kann. Ich führe dies Krankheitsbild hier auf, weil ein solcher Zustand zu Tumorbildung führt und somit auch in das Gebiet der Dickdarmgeschwülste in weiterem Sinne gehört. Sehr oft ist sogar eine echte Geschwulst, nicht selten ein Karzinom oder auch ein Lipom die Veranlassung zu dem Vorgange der Invagination. Die fast allein befallene Stelle ist der aufsteigende Dickdarm, es handelt sich fast regelmäßig um die Invagination des Ileum in das weite Coecum ascendens usw. Fast immer in diesen Fällen besteht eine erhöhte Beweglichkeit des Coecum ascendens als Folge der kongenitalen Mißbildung des Mesenterium ileocolicum commune. Der Sitz dieser Invaginationstumoren hängt von der Ausdehnung der Einstülpung ab.

D. Kottumoren, Enterolithen.

Zu den Pseudotumoren des Dickdarmes gehören auch die Kottumoren, die sich ohne ein mechanisch organisches Hindernis bei trägem Darm ausbilden können. Daß riesige Kottumoren sich oberhalb von Stenosen ansammeln können, ist nichts Besonderes. Das Wichtige in diesen Fällen ist eben das Fehlen einer organischen Passagebeschränkung. In vereinzelten Fällen können auch große solitäre Gallensteine als Darmtumoren imponieren, die durch eine Fistula bimucosa zwischen Gallenblase und Duodenum in den Darm gelangt sind und entweder direkt oder durch Vergrößerung infolge Anlagerns eines Kotmantels tastbar werden können. (Lit. Mockowski.)

Kurz erwähnt sollen hier auch die Tumorvortäuschungen durch einen Spasmus der Darmwand werden. Beobachtet sind solche Spasmen vielfach, Schmieden machte in der Grippezeit darauf aufmerksam. Der fest kontrahierte Darm kann in der Tat völlig einem Tumor gleichen. Ein schwerer Fall von Deszendensspasmus wurde von Schütz mitgeteilt.

VIII. Allgemeine röntgenologische Symptome des Dickdarmtumors.

Vor der Besprechung der einzelnen Tumoraffektionen des Dickdarmes will ich einen Überblick über die für den ganzen Dickdarm geltenden Tumorsymptome geben, um mich im speziellen Teile darauf beziehen zu können und so Wiederholungen zu vermeiden.

Ein Tumor kann sich entweder in das Lumen des Darmes hineinentwickeln, ohne daß die Umgebung seines Stieles wesentlich induriert ist, oder er kann das Lumen durch zirkuläre Wandschrumpfung verkleinern und die Passage verengern. Durch Palpation lassen sich diese beiden röntgenologisch wohl charakterisierten Gruppen nicht trennen.

A. Der Füllungsdefekt.

Ist die Kontrastflüssigkeit in ihrer Ausbreitung durch einen im Lumen liegenden Tumor beeinträchtigt, so entsteht ein Schattenausfall, ein Füllungsdefekt, der direkt dem Tumor entspricht. Ein Füllungsdefekt ist also zu definieren als Ausbleiben der Füllung in einem Darmbezirke, der sich normalerweise hätte füllen müssen. Beweisend ist nur das konstante Vorkommen eines Füllungsdefektes.

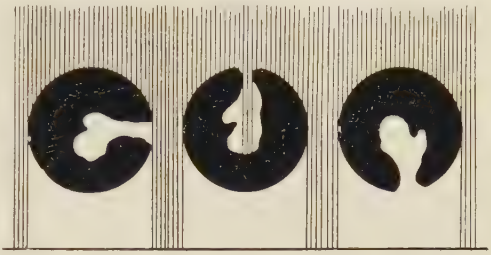


Abb. 32. Darstellung der Sichtbarkeitsverhältnisse eines schmal gestielten Tumors ohne Infiltration der Wandung. — In allen Situationen völlige Auslöschung des Tumors durch die strahlenundurchlässige Kontrastmasse.

Sehen wir zwischen einer oralen und einer analwärts gelegenen Füllung stets einen Ausfall, so bedeutet das ein Hauptröntgensymptom des Darmtumors. Das gilt in gleicher Weise von der Kontrastbreipassage wie vom Kontrasteinlauf.

Weiter ergibt sich aber die Frage: Bedingt jeder in das Darmlumen vorragende Tumor auch einen Füllungsdefekt? Man muß diese Frage verneinen. An Hand einer Reihe schematischer Bilder habe ich die hier in Betracht kommenden Verhältnisse zu veranschaulichen gesucht (Abb. 32ff.). Die Darstellbarkeit der mehr oder minder gestielten, sich breit in das Lumen hinein entwickelnden Tumoren ist im wesentlichen abhängig von

a) der Dicke des Tumorstieles;

b) der Größe des Tumors im Verhältnis zum Lumen des Darmes oder mit anderen Worten von der den Tumor noch bedeckenden Schichtdicke der Kontrastflüssigkeit;

c) der Lage des Tumorstieles zum Zentralstrahl.

Wie wir in den Abb. 32 sehen, ist der Tumor in keiner Weise bei Benutzung der Schwermetallsalzkontrastfüllung darstellbar, wenn der Stiel sehr schmal ist. Man mag den Darm drehen wie man will, stets wird solch ein Polyp ausgelöscht. — Schwarz schreibt zu diesem Punkte: „Polypös gestaltete kleine Tumoren können sowohl per os als für die Irrigoskopie vollkommen unauffindbar sein . . . Deshalb soll in einem negativen Röntgenbefunde immer darauf hingewiesen werden, daß ein kleiner, nicht stenosierender (polypös geformter) Tumor nicht ausschließbar sei.

Ist der Stiel breitbasig, dann hängt die Sichtbarkeit von der Drehstellung, weiter in hohem Maße von dem Grade der Entfaltung des Darmes ab. Bei tangential verlaufendem Zentralstrahl erscheint jetzt ein Schattenausfall, der allerdings nur einem geringen Teile des ganzen Tumors entspricht (Abb. 33). Sitzt der Tumor an der Vorder- oder Hinterwand (bezogen auf den Strahlengang), so verschwindet er, die ihn bedeckende dünne Kontrastflüssigkeitsschicht läßt keine Röntgenstrahlen durchtreten (Abb. 34). Vermindert man die Dehnung des Darmes durch Ablassen von Flüssigkeit, so daß die den Tumor deckende Kontrastschicht ganz verschwindet oder wesentlich verdünnt wird, so legt sich der Tumor der gegenseitigen Darmwand an, wird dann auf der Platte

als dunkler Fleck inmitten des hellen Darmfüllungsfeldes sichtbar (Abb. 35 u. 36). Ist der Tumor so groß, daß er das ganze Lumen ausfüllt, dann erst ist ein völliger Schattenausfall zu erwarten.

Ein grundsätzlich anderes Bild bietet uns die Tumorstenose nach dem Schema der Abb. 37. Hier ist der Darm von allen Seiten her verengt. Diese zirkulären Wandschrumpfungen erscheinen als Schattendefekt bei jeder Drehstellung.

Abb. 33. Breitbasiger Tumor an Vorder- und Hinterwand, ausgelöscht durch Kontrastfüllung.

Abb. 34. Breitbasiger Tumor, seitlich sitzend, ergibt den nicht der tatsächlichen Größe entsprechenden Füllungsdefekt D.

Abb. 35. Großer Tumor, nicht sichtbar infolge starker Füllung des Darmes.

Wir müßten nun erwarten, daß die pathologisch anatomischen Befunde sich mit den röntgenologischen Bildern decken. Es hat sich aber herausgestellt, daß eine derartige Übereinstimmung nur für einen Teil der Fälle zu erweisen ist. Oft sehen wir auf der Platte Ausgüsse der stenosierten Partien, die ein getreues Abbild der Lumengestaltung bieten und völlig dem Bilde gleichen, das man bei postoperativer Füllung des Resektionspräparats mit einer Bariumaufschwemmung erhält. — Häufiger aber sind diese Bilder nicht kongruent:

Abb. 36. Derselbe Tumor erscheint als zentraler Füllungsdefekt D nach teilweiser Entleerung des Kontrasteinlaufs, weil der Tumor sich der gegenseitigen Darmwand anlegt.

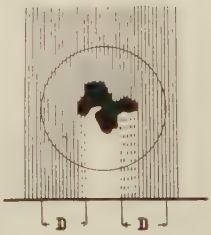


Abb. 37. Zirkuläre Tumorstenose (gemäß Abb. 22); D = Füllungsdefekt.

Das Stierlin-Symptom und seine Erklärung.

Stierlin beschrieb 1911 ein Symptom, dessen Erklärung uns jetzt beschäftigen soll. Er sah bei der Kontrastbreipassage den Brei einen Darmteil ohne jeden Zeitverlust überspringen, so daß dieser Darmteil zu keiner Zeit der Untersuchung als voller Schatten sichtbar war. Auf das Coecum-Ascendens bezogen, ergibt sich folgendes Bild: Die unterste Dünndarmschlinge ist noch mit Kontrastinhalt gefüllt, an Stelle des erkrankten Coecum-Ascendens ist keinerlei Schatten erkennbar, erst jenseits

dieses Darmteiles erscheint das Kolon wieder als normaler voller Schattenriß. Dieses in der Literatur als Stierlin-Symptom benannte Zeichen wurde positiv gefunden bei geschwürig indurativen Prozessen des ganzen Dickdarmes. Stierlin bezeichnet den Schattenausfall als charakteristisch sowohl für die stenosierende als auch für die nichtstenosierende Form der Ileocoekaltuberkulose; im übrigen ist es ganz allgemein als Ausdruck einer groben anatomischen Wandveränderung zu werten und somit nicht allein für Tuberkulose bezeichnend. Stierlin schreibt wörtlich: Aus diesem Grunde darf die exakte Röntgendiagnose keine spezifische Ätiologie involvieren und muß lauten: Geschwürig indurative Veränderung des Coecum und Colon ascendens. In der Literatur ist diese Angabe Stierlins zum Teil bestätigt worden, aber es wurden allmählich doch eine Reihe von Stimmen laut, die dem Zeichen seine Bedeutung teilweise absprachen. Von Faulhaber, Flemming-Möller, Revecz wurden Fälle gezeigt, bei denen trotz sicherer Tuberkulose ein Schattenausfall nicht zustande gekommen war.

Danach muß man wohl anerkennen, daß bei negativem Stierlin-Zeichen eine Erkrankung des Darmes nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Die Ansicht der meisten Röntgenologen dürfte sich dahin präzisieren lassen, daß ein positiver Stierlin also die völlige Auslöschung einer bestimmten Darmstrecke bei konstantem Befund seinen Wert keineswegs verloren hat.

In Fällen von positivem Stierlin-Zeichen ergibt die Füllung des Resektionspräparates mit Kontrastflüssigkeit eine mehr oder minder breite stenotische Straße, aber keinen vollen Schattenausfall. Das so gewonnene Bild steht in vollem Gegensatz zu dem Bilde bei der Röntgenaufnahme des erkrankten Darmteiles im Körper.

Stierlin und nach ihm andere Autoren haben das Symptom des Schattenausfalls mit einer lokalen Hypermotilität oder als lokalen Spasmus zu erklären gesucht. Es erscheint durchaus verständlich, daß ein krampfhaft zusammengezogener oder hypermotiler Darmabschnitt sich nur ganz vorübergehend mit Kontrastflüssigkeit füllt und so im Röntgenbilde nicht darstellbar ist. Stierlin betont selbst, daß der Schattenausfall nicht der Ausdruck einer pathologisch-anatomischen Stenose sein kann. Offenbar hat ihn die Erklärung im Sinne der Hypermotilität nicht in allen Fällen befriedigt, denn er spricht an anderer Stelle von einer mangelhaften Zurückhaltung des Darminhaltes an der erkrankten Stelle und betont, die Darmfunktion bestände nicht nur in einem Weitertransport, sondern auch im Festhalten des Inhalts. Dieser Erklärung vermag ich mich nicht recht anzuschließen. Ein Zurückhalten von Inhalt kann nur durch einen Spasmus erzielt werden, der einen analwärts gerichteten Transport verhindert, ein Vorgang, wie wir ihn physiologischerweise im Bereich der rechten Kolonhälfte — Spasmus in der Mitte des Transversum, Rücktransport in das Coecum-Ascendens — kennen.

Ein solcher analwärts der Stenose gelegener Spasmus müßte aber eher zu einer Darstellung des kranken Darmabschnittes infolge der Rückstauung führen, wenn man nicht annehmen will, daß der kranke Abschnitt selbst fest kontrahiert ist. Goldammer hat ähnlich das Ausbleiben des Stierlin-Symptoms in manchen Fällen von Darmtuberkulose gedeutet.

Die Erklärung des Stierlin-Zeichens als Folge eines Spasmus oder einer lokalen Hypermotilität im Erkrankungsbereich befriedigt nur für einen Teil der Fälle, und zwar nur dann, wenn der Krankheitsprozeß noch nicht zu einer Funktionsuntüchtigkeit der Darmmuskulatur geführt hat. Wie sollen wir aber uns mit jenen Fällen abfinden, bei denen der Darm sicher nicht mehr kontraktil ist? Die histologische Untersuchung läßt solche Fälle einwandfrei erkennen, auch weist der negative

Ausfall der elektrischen Reizung während der Operation auf die Zerstörung der Muskulatur hin. Es ergibt sich die Frage, ob die Annahme eines Spasmus der unmittelbar an den Krankheitsherd grenzenden Darmabschnitte eine Erklärungsmöglichkeit bietet. Die Vorstellung liegt nahe, daß unter dem Druck der Peristaltik ein den Tumor oralwärts begrenzender Spasmus plötzlich überwunden wird und daß der Inhalt durch die Stenose hindurchgespritzt wird. Die in dem starren Kanal verbliebenen Reste fließen in den sich analwärts weitenden Darm ab und allmählich stellen sich wieder die den Tumor anal- und oralwärts begrenzenden Spasmen her, die ein neues Einströmen von Kontrastmasse verhindern.

Man spricht häufig von einer starren Stenose. Das Wort starr ist dabei oft nicht ganz zutreffend. Eine gewisse Elastizität hat der Darm auch im Tumorbereich noch, die Wandungen liegen elastisch aneinander. Wäre der Darm wirklich absolut starr, dann müßte unter allen Umständen eine Füllung vorhanden sein, denn ein Vakuum in einer starren Röhre ist bekanntlich im Körper nicht denkbar. Diese Überlegung gestattet eine Erklärung ohne die Annahme hypothetischer, den Tumorabschnitt begrenzender Spasmen. Während beim normalen Darme eine Entfaltung des Lumen schon bei geringem Druck eintritt, ist jetzt in dem oralen Darmteil eine über die Norm gehende Druckerhöhung notwendig, um die Entfaltung der elastisch aneinanderliegenden Darmwände im Bereiche der Stenose zu erzielen.

Sowie die erforderliche Druckhöhe erreicht ist, werden die Inhaltsmassen mit großer Geschwindigkeit durch die Stenose gespritzt und stürzen in den sich leicht entfaltenden analwärts gelegenen Darmteil. In dem gleichen Moment aber, wo die Druckhöhe unter den Stenoseentfaltungsdruck sinkt, klappen die Wände wieder aneinander, die restliche Flüssigkeit wird nach beiden Seiten ausgepreßt und der Tumorabschnitt ist wieder leer.

Diese Erklärung scheint mir am besten den physiologischen, pathologischen und dynamischen Gesetzen zu entsprechen.

Den „Stierlin"schen Schattenausfall sehen wir nun nicht nur bei der Kontrastbreipassage, sondern auch in einem gut Teil der Einlaufuntersuchungen. Hier ist aber, wie ich schon früher betonte, größte Vorsicht geboten. Man darf keineswegs, wenn sich etwa das Coecum-Ascendens beim Einlauf nicht sogleich füllt, ohne weiteres einen Füllungsdefekt diagnostizieren. Durch Lagerung auf die rechte Seite, Erhöhung der Flüssigkeitsmenge, Massage muß man zuvor versuchen, den Einlauf auch in diese Teile vorzutreiben. — Fraglos dürfte sein, daß die Breipassage für die Darstellung des typischen Schattenausfalls die passendere Methode ist.

B. Die Stauung des Kontrastinhalts vor einem Hindernis (antero- und retrograd).

Ist die Passage behindert, so wird der Durchtritt der Darminhaltsmassen sich verzögern und es wird sich allmählich eine Hypertrophie und Dilatation des oral von dem Hindernis gelegenen Darmteiles ausbilden. Die Stauung vor dem Hindernis kann sich nun in verschiedener Weise auswirken: Entweder bildet sich ein fühlbarer Kottumor aus eingedickten Fäkalien aus, der lange Zeit konstant bleibt, oder es kommt durch die Stauung zum Katarrh der Darmwand, Gärung und Fäulnis in dem gestauten Inhalt, zur Erhöhung des Gasdrucks, bis sich plötzlich der dünnflüssige Inhalt durch die Ste-

nose analwärts entleert. Während bei der einen Gruppe also die Obstipation allein im Vordergrunde steht, wechseln im zweiten Falle Verstopfung und Durchfall ab. Röntgenologisch sehen wir bei der einfachen Stauung ohne Gärung die Kontrastmasse unscharf enden und nur ganz langsam weiter vorrücken, der Darm weist oral der Stenose eine Erweiterung auf, die ungeheure Grade annehmen kann. Im Dickdarm pflanzt sich auch bei tiefliegenden Stenosen die Rückstauung bis zur Valvula ileococcalis fort. Da das Coecum-Ascendens der weiteste Darmabschnitt ist, wird sich gerade hier die stärkste Blähung entwickeln (Anschütz). In diesem Zusammenhange sei darauf aufmerksam gemacht, daß im Ileus hier am Coekum der Dickdarm zu perforieren pflegt. Man beobachte also besonders den Grad der Coecum-Ascendens-Blähung.

Die Stagnation, besonders die Gärungsprozesse gehen mit vermehrter Gasbildung einher und so kommt es neben der Verflüssigung des Kotes zu röntgenologisch gut sichtbarer Vermehrung des Dickdarmgasgehaltes. Allein aus dem Bilde abnorm großer Gasblasen mit Flüssigkeitsspiegeln kann man mit Sicherheit eine Stenose diagnostizieren. Normalerweise sehen wir nur Gasblasen in den das Transversum begrenzenden Flexuren, manchmal auch im Sigma und in Haustrenteilen. Bei Beurteilung des Gasgehaltes ist selbstverständlich Vorsicht geboten, die physiologische Variationsbreite ist hier sehr groß.

Das Hindernis selbst kann man in den meisten dieser Fälle, insbesondere denen starker tumorartiger Kotansammlung vor der Stenose nur schwer darstellen, die Kotmassen verhindern oder verzögern das Vordringen des Kontrastsalzes bis an den Tumor.

Direkte Stenosesymptome sind also Stauung in erweitertem Darme und vermehrte Gasansammlung mit erheblicher Verzögerung der Fortbewegung. Differentialdiagnostisch muß man die oft erstaunlich hochgradigen Retentionen im Dickdarm bei der einfachen chronischen Obstipation in Erwägung ziehen, evtl. auch das Megacolon congenitum. Am leichtesten verständlich sind jene Fälle ohne Kotstauung vor der Stenose, in denen ein fingerförmiger Fortsatz der Kontrastmasse sich in die verengte Stelle hineinerstreckt. Es gibt oft Situationen, wo man sich nach dem Bilde der Darmpassage nur ein unsicheres Urteil bilden kann; in diesen Fällen ergibt sich aus der Beobachtung des Kontrasteinlaufes die Klärung. Wenn eine einfache Obstipation einen obstruierenden Tumor vortäuscht und der Kontrasteinlauf bzw. die Kombination des Einlaufes mit der Luftblähung zeigt einen normal konfigurierten Darm, so wird man ein organisches Hindernis ablehnen müssen. Füllt aber der Einlauf nur einen Teil des Darmes und gelangt bei wiederholtem Versuch über einen bestimmten Punkt nicht heraus, so ist mit diesem Befunde ebenfalls eine Klärung gegeben. Gerade für die Stenosefälle ist die Durchführung sowohl der Untersuchung per os als auch der Irrigation bzw. Luftinsufflation in Kombination nicht zu entbehren.

Auch bei der kombinierten Untersuchung ergeben sich Schwierigkeiten, wenn es infolge einfacher Darmträgkeit — bei alten Leuten — zu ausgedehnten, kaum beeinflußbaren Kottumoren gekommen ist. Dann kann man eine Stauung des Kontrasteinlaufes und auch der Passage beobachten, Symptome, die zur Diagnose eines Tumors führen müssen. Bekannt sind Fälle dieser Art mit akutem Ileus.

Zusammengestellt seien hier kurz die Gründe, die ein Vordringen der Einlaufflüssigkeit verhindern bzw. erschweren. Das kann geschehen:

1. durch einen Spasmus;
2. durch eine spornbildende Abknickung;
3. durch einen stenosierenden Tumor.

Stierlin wies darauf hin, daß bei Tumoren, die das Lumen des Darmes nahezu ausfüllen, zwar die konsistenteren Skybala der Breipassage sich unter dem Druck der Peri-

staltik durchzwängen, daß aber die Einlaufflüssigkeit eine Entfaltung nicht zu erzielen vermag. Diese Überlegung dürfte für die einfache Einlaufmethode zutreffend sein. Jedoch auch bei retrograd anscheinend völliger Unwegsamkeit läßt sich durch Erhöhung des Druckes durch Luftnachblasen per anum meist doch eine Füllung der oral von der Stenose gelegenen Darmteile erzielen. Voraussetzung ist die Schlußfähigkeit des Afters. Sicher ist die Kraft der Peristaltik größer als der durch den Einlauf erzielte Entfaltungsdruck. – Spasmen werden bei Zuwarten fast immer überwunden, Abknickung kann man durch Massage und Lagerungswechsel ebenfalls in den meisten Fällen ausgleichen. Evtl. wiederhole man mehrfach den Einlauf! (Darreichung von Atropin.)

Was für die Kontrastflüssigkeit in bezug auf das Stierlin-Zeichen gilt, ist auch für die Luftfüllung des Darmes zutreffend. Füllen wir den Darm mit Luft, so haben wir den Vorteil, daß Spasmen und Abknickungen sich sehr rasch ausgleichen, so daß sie dem Vordringen keine Schwierigkeiten bieten. Auch „starr" elastische Stenosen entfalten sich unter dem Luftdruck nach eigener Erfahrung besser als unter Wasserdruck. Sicher kann man ohne wesentliche Beschwerden einen höheren Innendruck mit Luft erzielen als mit Flüssigkeit. Bei der kombinierten Methode nach A. W. Fischer wird die Kontrastflüssigkeit durch die Luft vorwärts in die Stenose getrieben und bringt sie oft erst so direkt zur Darstellung. Ich verfüge über Fälle, wo auch nur eine Luftstraße durch den Tumor sichtbar ist, während Flüssigkeit nicht hatte eindringen können (Abb. 55). Es gibt aber auch Fälle, bei denen sich durch die Luftblähung ein echtes Ventil ausbildet, das das weitere Vordringen der Luft und Flüssigkeit verhindert. Schematisch ist das in Fig. 38 dargestellt. Der dicht vor einer Stenose befindliche, gut dehnungsfähige gesunde Darm hat sich hier zu einer Art Taschenklappe, ähnlich den Aorten- bzw. Pulmonalklappen am Herzen ausgeweitet und nun ragt die Stenose portioartig in diese Klappentaschen hervor. Ihr Lumen wird durch den Luftdruck in der Pfeilrichtung zusammengedrückt. Jeder Versuch, den retrograden Verschluß durch weitere Druckerhöhung zu sprengen, muß vergeblich sein, im Gegenteil wird der Verschluß nur noch fester werden.

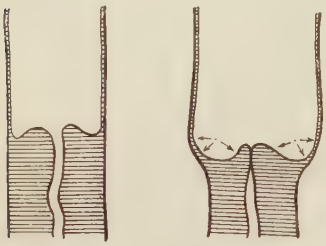


Abb. 38. Entstehung eines Taschenklappenmechanismus an einer Stenose bei Luftdehnung des Darmes.

In seltenen Fällen kann man aber auch beobachten, daß der Einlauf ohne Schwierigkeiten die Stenose passiert, während die Breimasse langsam sich die Passage erquälen muß. Einen solchen Fall erwähnt Schlesinger. Eine einfache Deutung für solche Fälle ist in der Verstopfung einer Stenose durch einen konsistenteren Kotballen oder durch einen Fremdkörper (Obstkern od. dgl.) gegeben. Dieser Verschlußkörper wirkt dann für die von oben kommenden Inhaltsmassen als ausflußhemmendes Ventil, während er durch die Einlaufflüssigkeit ohne weiteres weggespült wird.

C. Direkte Ulkussymptome.

Ein Geschwür führt fast regelmäßig zu einer Infiltration der Wand. Diese Wandverhärtung dokumentiert sich in Unregelmäßigkeiten der Kontur, sobald der Röntgenstrahl gerade tangential diese Wandstelle trifft. Eine Fesselung der Darmwand durch perikolitische Prozesse kann aber in gleichem Maße eine Wandunregelmäßigkeit bedingen. Direktes Ulkussymptom ist nur das Haftenbleiben von Kontrastsalzpartikeln in den Unebenheiten des meist rauhen Geschwürsbodens. Der Chirurg kennt dieses Bild sehr wohl, er sieht in dem nach der Resektion aufgeschnittenen Darmstück das weiße Salz

und Bolusteile in den Geschwürsflächen haften. Bei der kompletten Darmfüllung können Geschwüre natürlich nicht zur Darstellung kommen, wohl aber nach Ablassen des Einlaufs und nach Entleeren von Kontrastkot, wie es Stierlin empfohlen hat, oder nach Aufblähung des Darmes mit Luft nach der Methode von A. W. Fischer. Die Retention der Kontrastmasse in den Geschwüren ist im übrigen bei der Colitis ulcerosa als „Flechtbandform" wohlbekannt. Hier wird die Retention noch durch spastische Prozesse der Darmwand begünstigt. Ähnliche Bilder sind in der Literatur vielfach als Marmorierung des Darmfeldes bezeichnet worden.

IX. Spezielle Diagnostik der Dickdarmgeschwülste.

A. Die Geschwülste des Coecum und Colon ascendens.

Dieser Darmabschnitt beschäftigt uns neben der Sigmaschlinge zahlenmäßig am meisten. Die Technik seiner Untersuchung bietet keine sonderlichen Schwierigkeiten und jede der drei Hauptuntersuchungsmethoden, der Einlauf sowohl wie die Breipassage und die Lufteinlaufkombination lassen sich hier leicht durchführen. Wie wir oben sahen, bildet der Kontrastkot nach seiner Eindickung vielfach täuschend verdächtige Füllungsdefekte und deshalb ist die Breipassage für die Teile des Kolon, in denen der Inhalt sich zu konsistenten Ballen geformt hat, nicht recht brauchbar. Hier am Anfang ist das aber nicht der Fall, hier ist der gerade aus dem Dünndarm kommende Brei noch flüssig genug, um das Lumen ganz auszufüllen, da die Wasserentziehung erst in diesem Abschnitt beginnt. Es fallen meist auch die die Übersicht störenden Ansammlungen harter Kotballen vor einer Stenose weg, so daß am Coecum-Ascendens die Verhältnisse für die Erkennung von Tumoren am allergünstigsten von allen Dickdarmteilen liegen.

Normalerweise soll das Coekum bis an den Rand des kleinen Beckens hinunterreichen, seine Breite wechselt in weiten Grenzen. Schwarz gibt als Normalausdehnung beim stehenden Menschen einen Ort 1—2 Querfinger oberhalb des Zentrums der Hüftgelenkspfanne an. Vielfach sieht man eine tiefe Furche dicht unterhalb der Einmündung des Ileum, die nicht als Adhäsionsfurche gedeutet werden darf. Wichtig ist in jedem Falle die Beobachtung des Ileum. Nach übereinstimmenden Angaben der Literatur (Rieder, Groedel, Stierlin u. a.) beginnt die Coekumfüllung bereits durchschnittlich nach $1^1/_2$ Stunden und ist der Dünndarm nach 5—6 Stunden vollständig geleert. Differenzen von 1—2 Stunden gegenüber diesen Zahlenangaben können kaum noch als normal gelten. Sehen wir aber das Ileum vor der Klappe noch nach 10 Stunden beträchtlich gefüllt, so ist ein solcher Befund mit großer Wahrscheinlichkeit als pathologisch anzusehen. Immerhin muß man berücksichtigen, daß bei der Antiperistaltik auch ein Rückfluß des Kontrastkotes aus dem Coekum in das Ileum durch eine insuffiziente Klappe eintreten und so eine verzögerte Ileumentleerung vorgetäuscht werden kann. Befinden sich aber Gasblasen im Ileum und zeigt dieses eine Erweiterung, dann allerdings besteht an der Diagnose einer Stenose kein Zweifel. Aus langdauernder Füllung des Coekum läßt sich nicht ganz leicht die Diagnose eines krankhaften Zustandes stellen. Die Leerungsdaten haben hier eine recht große Variationsbreite. Besonders die Fälle einfacher chronischer Obstipation sind hier von differentialdiagnostischer Bedeutung.

Der Einlauf will manchmal trotz Erhöhung des Drucks, trotz Bauchmassage und Seitenlagerung nicht recht das Coekum entfalten, für diese Fälle empfiehlt sich eine

Druckerhöhung nicht durch weitere Flüssigkeitsmengen, sondern durch Einblasen von Luft per anum. Die Luft bringt dann diese Abschnitte mühelos zur Darstellung, vorausgesetzt natürlich, daß sie überhaupt vorhanden sind. Wir müssen in diesem Zusammenhang uns daran erinnern, daß hier auch eine kongenitale Hemmungsmißbildung in Betracht kommen kann. Wenn das normale Absteigen der Valvula ileocoecalis aus der Gegend der Leberpforte in die rechte Beckenschaufel und die damit verbundene Ausbildung eines Colon ascendens ausbleibt, werden wir das Coekum in Gegend der Leberpforte enden sehen. Diese doch nicht ganz seltene Mißbildung wird sich aber an der Form des Coekum und der wohlabgerundeten Endigung des Kontrastfeldes — sei es nun Barium oder Luft — erkennen lassen. Während die Erkennung eines zu kurzen oder zu langen Coekum keine wesentlichen Schwierigkeiten bereitet, verwirren sich die Verhältnisse unangenehm, wenn das Coecum-Ascendens nach oben geschlagen sind.

Der Kontrasteinlauf stoppt regulär an der Ileocoekalklappe, deren Verschluß nach dem Ileum auch durch Druckerhöhung sich nicht leicht sprengen läßt. Zuweilen sieht man ihn aber auch mehr oder minder gehemmt in das Ileum vordringen (Case 16%) und in diesen Fällen ergibt sich die Frage, ob eine solche Beobachtung die Annahme eines pathologischen Prozesses nahelegt.

Im Rahmen dieser Arbeit kann auf diese Frage, die in der Literatur eine sehr ausführliche Bearbeitung erfahren hat, nur kurz eingegangen werden. Als normal kann man aus mancherlei Gründen den Rückfluß in das Ileum nicht ansehen. (Lit. bei Groedel, Dietlen.) Wenn sich die Klappe von einem Krankheitsprozeß des Coekum am Resektionspräparat als mitergriffen erwies, dann hatte vorher das Röntgenbild auch meist eine Durchgängigkeit der Klappe in falscher Richtung gezeigt. Die kleinen Striche und Flecke neben dem Coecum-Ascendens beim Kontrasteinlauf, die bei teilweiser Klappeninsuffizienz sich zeigen, muß man kennen, sie könnten sonst pathologische Prozesse des aufsteigenden Dickdarms vortäuschen.

Für die Untersuchung des luftgeblähten Darms ist Lagerung auf die linke Körperseite bei horizontalem Strahlengang unerläßlich. Zweckmäßig kehrt der Untersuchte dabei dem Arzte das Gesicht zu (siehe S. 9). Den Kontrastbrei kontrolliert man am besten im Liegen, während es vorteilhaft sein kann, bei Füllung mit der beweglichen Kontrastflüssigkeit im Stehen zu durchleuchten, da dann der Schwere folgend das Coecum-Ascendens sich stark füllt, dabei auch abwärts sinkt.

Kurz sei auch erwähnt, daß uns vielfach außerhalb des Darms gelegene Tumoren, die von der Niere oder Leber ausgehen, spondylitische Senkungsabszesse u. a. m. differential-diagnostisch beschäftigen. Diese Geschwülste bewirken nur eine einfache Verschiebung des Darms. Dazu

Fall 1. Frl. Ba., Abt. 24/35. 1923.

Allmähliche Entwicklung eines Tumors im rechten Unterbauch mit Gewichtsabnahme ohne sonstige Beschwerden. Palpatorisch glattwandiger indolenter über faustgroßer Tumor im rechten Unterbauch, der anscheinend dem Darm angehört. Der Gynäkologe spricht den Verdacht auf eine Ovarialzyste aus.

Das Röntgenbild (Abb. 39) zeigt eine ganz normale und unverdächtige Darstellung des Coekum, das trotz seiner falschen median verschobenen Lage an seiner Form ohne weiteres sich erkennen läßt. Der Tumor hängt somit mit dem Dickdarm nicht zusammen, er erweist sich bei der Operation als großer tiefliegender Iliakal-Senkungsabszeß, der von einem bis dahin okkulten Wirbelsäulenherd seinen Ausgang genommen hatte.

Stierlin, Ziegler u. a. haben eine ganze Reihe derartiger Fälle mitgeteilt. Der Druck eines extraintestinalen Tumors kann den Darmschatten der Breipassage verschmälern, sein Haustrenrelief abplatten, die Wandkonturen sollen aber gleichmäßig erscheinen. Wir stellen unsere Diagnose in erster Linie aus dem Sym-

ptom der Verlagerung. Sobald der Darm in entzündliche festere Verbackungen, die von dem Tumor ausgehen, eingehüllt ist, tritt zur Verlagerung auch eine Ungleichmäßigkeit der Kontur und eine verminderte Dehnungsfähigkeit bei Aufblasung mit Luft. Es gibt somit Fälle, wo rein röntgenologisch sich die Zugehörigkeit eines Tumors zum Darm kaum klären läßt.

Abb. 39. Verschiebung des Coecum-Ascendens medialwärts durch spondylitischen Iliakalabszeß. Fall Ba. Nr. 1. Einlauffüllung. Aufnahme im Stehen.

Alle Arten von Tumoren gelangen am Coecum-Ascendens zur Beobachtung: Das mehr oder minder breitbasig aufsitzende polypöse Karzinom, der scirrhöse, mehr oder minder infiltrative, der einfache geschwürige Krebs, die tumorbildende und einfach geschwürige Ileocoekaltuberkulose und die große Gruppe der entzündlichen Pseudotumoren, die meist bei intakter Mukosa den Darm von außen her einengen. Desgleichen gehört zu diesen Tumoraffektionen des rechten Unterbauchs auch die Invagination.

Die Karzinome des Coecum-Ascendens.

Fall 2. Ra., Lehrer, 47 J. 1924. Abt. 130.

Seit 4 Monaten krank, unklares Druckgefühl im rechten Unterbauch. Geringe Obstipation, zeitweise Kolikschmerzen. Objektiv großer fettreicher, anämischer Mann. Im rechten Unterbauch Resistenz palpabel.

Breipassage ergibt

1. verzögerte Entleerung des Ileum,

2. Füllungsdefekt im Coecum-Ascendens gegenüber der Einmündung des Ileum.

Abb. 40 zeigt uns das Einlaufbild. Hier haben wir einen vollkommenen Schattenausfall des unteren Colon-Ascendens samt dem Coekum. Wir erkennen:

1. Totalen Schattenausfall des Ascendens und Coekum.

2. Wolkige, zackige spitz- (nicht rundliche) Endigung des Darmschattenfeldes in der rechten Beckenschaufel.

Abb. 41 gibt das Bild nach Lufteinblasung per rectum ohne Ablassen des Kontrasteinlaufes wieder. Zur Erläuterung ist hier eine Pause beigegeben (Abb. 42). Sie zeigt:

1. Überlagerung von Sigmaschlinge (bogenförmig), rechtem Transversumschenkel und Coecum-Ascendens.

2. Es fehlt die helle Luftzone des Coecum-Ascendens in der rechten Beckenschaufel. Nur ein schmaler unregelmäßiger Luftstreifen ist vorhanden, er begrenzt einen etwa 5×5 cm messenden Schatten.

3. In dem normal geweiteten Ascendensteil ist ein auf der Pause besonders gekennzeichneter bohnengroßer Schattenfleck sichtbar.

Die Diagnose wurde auf produktiven Karzinomtumor gestellt, der die Valvula Bauhini stenosiert.

Man vergleiche nun das Resektionspräparat mit den 3 Röntgenbildern (Abb. 43). Die Ileocoekalklappe war völlig zerstört, die engste Stelle lag an der unteren Tumorgrenze, also nach dem Colon ascendens zu. An der lateralen Seite war eine Strecke noch

fast frei vom Tumor, die in dem Luftfüllungsbilde erkennbar ist. Die beiden polypösen präkanzerösen Tumoren haben sich auch im Luftfelde abgezeichnet, der mehr analwärts gelegene war schon vor dem Eingriff aufgefallen, während der andere Polyp erst

Abb. 40. Einlaufuntersuchung. Füllungsdefekt des unteren Aszendens und Coekum. (Aus der R.-Abt. der Med. Univ-Kl. Frankfurt Dr. Berg.) Die Abbildung ist seitenverkehrt.

Abb. 41. Carcinoma coeci. Fall Ra. Nr. 2. Kombination von Luftblähung und Kontrasteinlauf. Tumor erscheint im Luftfeld (vgl. Abb. 42). Hintere Seitenlage.

nachträglich auf dem Bilde sich erkennen ließ, da er in das Tumorfeld hineinprojiziert worden ist.

Fall 3. Ro., Beamter. 54 J. 1922. Abt. 30.

Seit einem halben Jahre des öfteren Schmerzen in der Nabelgegend, Allgemeinbefinden gut, keine Abmagerung, keine Stuhlbeschwerden.

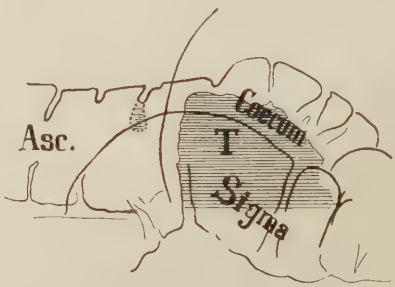


Abb. 42. Zu Abb. 41.

Großer kräftiger korpulenter Mann. Dicht unterhalb des Nabels und rechts davon eine mäßig druckschmerzhafte Resistenz fühlbar. Rechte Beckenschaufel palpatorisch frei.

Breipassage ergibt nichts Auffälliges. Ileum nach 5 Stunden geleert, Brei völlig im Coecum-Ascendens liegend, und dieses ausfüllend. Tumor medial vom Coekum palpabel. Weitere Entleerung o. B.

Einlauf (Abb. 44) läßt ein Coecum-Ascendens normaler Lage und normaler Breite erkennen. Man hat den Eindruck, als sei es etwas nach rechts außen oben verdrängt. Wandkontur o. B., soweit sich das bei dem überaus korpulenten Manne genau erkennen läßt. Auch bei Drehung in der Längsachse erscheint das Coecum-Ascendens vor dem Schirm einwandfrei. Der Tumor ist ganz offenbar medial vom Darm gelegen. Es wird, da auch Transversum und Sigma sich klar darstellen lassen, an einen Mesenterialtumor gedacht.

Die kombinierte Lufteinlauffüllung klärte mit einem Schlag die Situation (Abb. 45 u. 46). Wir sehen

1. einen unregelmäßig rundlich begrenzten, etwa 5 × 5 cm großen Schatten in

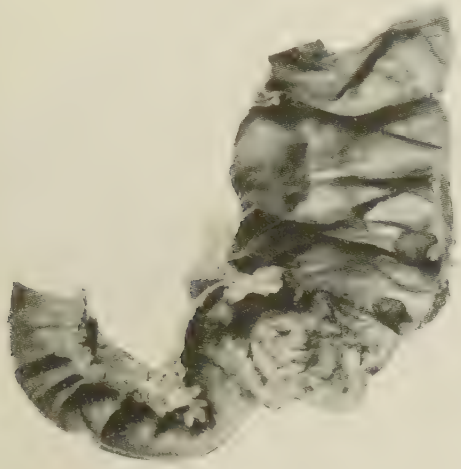


Abb. 43. Carcinoma coeci. Fall Ra. Nr. 2. Resektionspräparat.

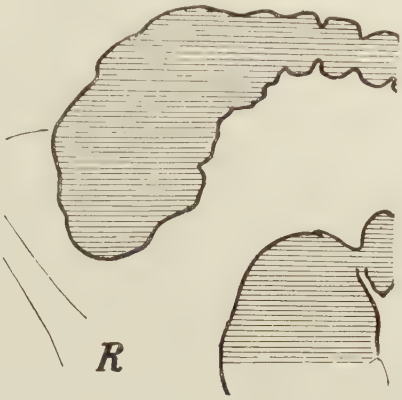


Abb. 44. Einlauf. Fall Ro. Carcinoma coeci. An dem Bilde ist nichts Auffälliges festzustellen. Bei der Palpation ließ sich der Tumor medial neben dem Ende der Kolonfüllung tasten.

den Darm hineinragen, der auch bei Drehung um die Längsachse des Patienten stets im Darmluftfelde verbleibt.

2. Die Palpation ergibt, daß man diesen im Luftfelde sichtbaren Tumor nicht fühlen kann, sondern daß die fühlbare Geschwulst nach der Mitte zu liegt.

Hieraus ergab sich die Diagnose: Polypöse Geschwulst malignen Charakters im Coekum mit großem Mesenterialdrüsentumor.

Abb. 45. Carcinoma coeci. Fall Ro. + Kontrasteinlauf. + Luftaufblähung. Tumor erscheint sichtbar im Coekumluftfelde.

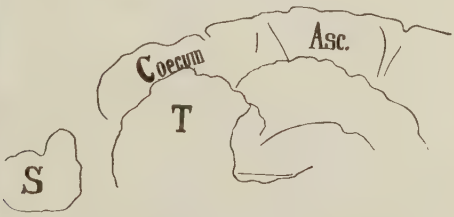


Abb. 46. Zu Abb. 45.

Abb. 47 zeigt uns das durch Resektion gewonnene Präparat: Breitbasig sitzt der Tumor im Coekum! Erklärlich wird nun auch die Tatsache, daß diese Geschwulst durch die Darmfüllung mit Kontrastsalz, sei es nun in Form des Einlaufs oder der Passage nicht darstellbar gewesen war. Genau wie in der allgemeinen Besprechung (S. 31) an Hand von Skizzen ausgeführt ist, wurde hier der Tumor durch die strahlenundurchlässige Kontrastmasse wegradiert. Zugeben muß man, daß bei einem weniger korpu-

lenten Menschen doch vielleicht ein partieller Füllungsdefekt am unteren medialen Coekumrande bei seitlicher Drehung sich hätte erweisen lassen können.

Abb. 47. Carcinoma coeci. Fall Ro. Nr. 3. Resektionspräparat.

Diese beiden Fälle sind Typen des polypösen breitbasig aufsitzenden Krebses. Nun einige Bilder von infiltrativen Fällen:

Fall 4. Dr. N., Arzt, 40 J. 1922. Abt. 14a.

Seit 2 Jahren leichte Kolikschmerzen, vor 1 Jahr gelegentlich einer Appendektomie

Abb. 48. Carcinoma coeci. Fall Dr. N. Nr. 4. Breipassage nach 13 Stunden. Reste im Ileum. Stenosestraße an Stelle eines normalen Coecum-Ascendens (s. hierzu Pause Abb. 49).

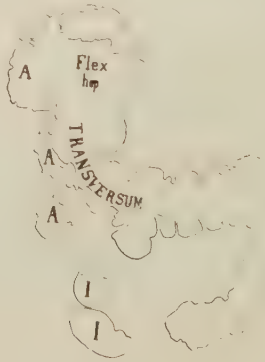


Abb. 49. Zu Abb. 48.

Befund eines Coekaltumors. Röntgenbestrahlung mit Diagnose Tuberkulose oder Karzinom.

Breipassage: 1. Reste im Ileum noch nach 13 Stunden.

2. Bei keiner Durchleuchtung war das Coecum-Ascendens normal gefüllt sichtbar. Stets fanden sich in diesem Bezirk nur unregelmäßige scharfzackige Flecken von Nuß-

bis Kastaniengröße. Erst von der Flexura hepatica an abwärts erschien der Dickdarm unverdächtig (Abb. 48 und 49).

Palpatorisch ließen sich die Darmteile auch nicht recht trennen. Abb. 37 gibt eine Pause als Erklärung, da in der Photographie die stenosierte Partie von dem Transversum überlagert ist.

Einlauf.

1. Totaler Schattenausfall des Coecum-Ascendens.

2. Darmschattenfeld endigt an der Flexura hepatica ganz plötzlich mit spitzen Konturen (Abb. 50).

Lufteinblasung ohne Ablassen des Kontrasteinlaufes (Abb. 51 u. 52).

1. Totaler Schattenausfall des Coecum-Ascendens, das Luftfeld endigt in Höhe der Beckenschaufel.

2. Die Luftsäule endigt nicht in der für das Coekum charakteristischen Form, sondern scharfzackig. Die Kontur ist an der Innenseite deutlich auf eine Strecke von 4 cm verzerrt, auch an der Außenseite muß sie als unregelmäßig angesehen werden.

Abb. 53 gibt uns das durch Resektion gewonnene Präparat wieder:

Wir erkennen die enge Tumorstenose, die Infiltration der Wand (Verdickung) auch anal vom Tumor, die Erweiterung des Ileum. Sehr gut sichtbar sind die Reste von Barium und Bolus in den geschwürigen Mukosaflächen. Diese Flecken wären sicher auch auf dem Einlauf und Luftbild sichtbar gewesen, wenn nicht die Breipassage zuletzt von allen Untersuchungsmethoden durchgeführt worden wäre. — Die Wandungen der Stenose lagen sehr eng aneinander, so daß sie weder von der Einlaufflüssigkeit noch von der Luft entfaltet wurden, nur die konsistentere Breimasse hatte sich unter dem Druck der Peristaltik hindurchgezwängt.

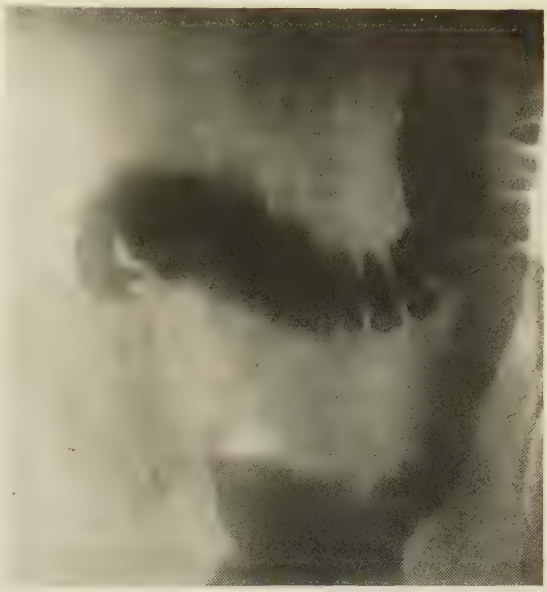


Abb. 50. Carcinoma coeci. Fall Dr. N. Einlauffüllung. Endigung spitzzackig in Ascendensmitte.

Abb. 51. Carcinoma coeci. Fall Dr. N. Nr. 4. Barium + Luftfüllung. Linke Seitenlage. Luftfeld endigt scharfzackig.

Abb. 52. Zu Abb. 51.

Fall 5. M., Offizier, 38 J. 1923. Abt. 14a.

Seit einem halben Jahre krank, Abmagerung, Durchfälle. Da Patient früher eine verdächtige Pleuritis überstanden hat, wurde der in der rechten Unterbauchgegend tastbare Tumor für eine produktive Coekaltuberkulose angesprochen und erst nach Wochen der Patient der Klinik zugeführt.

Abb. 53. Karzinom des Coecum-Ascendens. Fall Dr. N. Nr. 4. Resektionspräparat.

Passage zeigt das typische Bild eines Füllungsdefektes im Sinne Stierlins. Niemals war das Coecum-Colon ascendens bis zur Flexura hepatica sichtbar, der Kontrastinhalt schien diese Stellen zu überspringen. Wesentliche Verzögerung der Ileumentleerung (12 Std.).

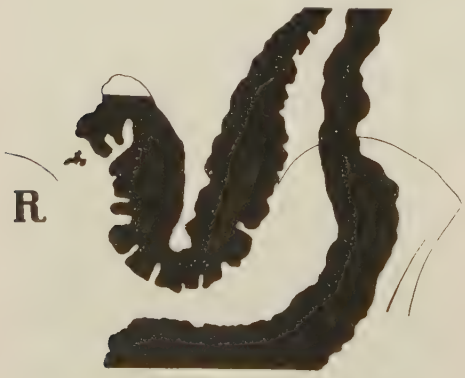


Abb. 54. Karzinom des Colon ascendens. Fall M. Nr. 5. Einlauf endigt mit zackiger Kontur am oberen Ende des Colon ascendens.

Einlauf zeigt (Abb. 54)

1. totalen Schattenausfall von Colon ascendens und Coekum, Endigung des Füllungsfeldes hoch über der Beckenschaufel.

2. Scharfzackige Endigung, soweit erkennbar und nicht durch die Biegungen an der Flexura dextra überlagert.

Ohne Ablassen des Einlaufs erfolgt die Lufteinblasung in linker Seitenlage. Zuerst erschien hell aufleuchtend die Flexura hepatica, an der das Luftfeld endigte. Bei Erhöhung des Druckes sah man plötzlich kleine Luftblasen auf einer engen Straße in Richtung auf die rechte Beckenschaufel vordringen und sich dort zu einem scharf umgrenzten rundlichen Felde sammeln. Kontrastflüssigkeit wurde auf diesem Wege nicht mitgerissen.

Die Aufnahme (Abb. 55 u. 56) gibt diesen Augenblick wieder. Wir erkennen

1. Gute Dehnung und Luftfüllung der Flexura hepatica und des an seiner Form erkennbaren Coekum.

2. Eine eben sichtbare unregelmäßige Luftstraße verbindet Flexura hepatica und

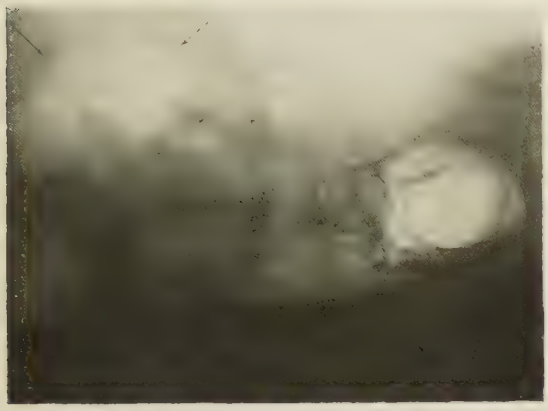


Abb. 55. Carcinoma des Colon ascendens bei freiem Coekum. Fall M. Nr. 5. Scharfzackige Endigung des Luftfeldes an der Flexura hepatica, Luft durcheilt einen engen Gang und entfaltet das gesunde Coekum (Pfeile).

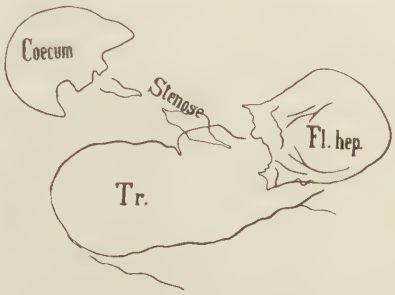


Abb. 56. Zu Abb. 55.

Coekum. Kontrastflüssigkeit ist nur am analen Teil dieser Straße eingedrungen.

3. Die Endigung des Luftfeldes ist wieder wie in den zuvor beschriebenen Fällen scharfzackig.

Diagnose: Karzinom des Ascendens bei Freisein des Coekum.

Die Operation ließ das in Abb. 57 wiedergegebene Resektionspräparat gewinnen. Es fand sich

1. eine enge karzinomatöse Stenose des Ascendens,

2. wie erwartet, ein unversehrtes Coekum, das infolge der Formalinschrumpfung nicht so ganz deutlich auf dem Bilde zu beurteilen ist.

Abb. 57. Karzinom des Ascendens. Fall M. Nr. 5. Resektionspräparat.

Das Sarkom der Coekalklappe.

Ein Röntgenbild eines solchen Falles zu bringen, sind wir leider nicht imstande, da der einzige in den letzten Jahren operierte Fall akut im Ileus angegangen werden mußte, so daß eine radiologische Untersuchung nicht möglich war. Ich muß mich darauf beschränken, wenigstens eine Abbildung des resezierten Darmstücks zu geben (Abb. 58, Fall 6, Schm., 63 J. 1923. Abt. 14a).

Die Tuberkulose des Coecum-Ascendens.

An den Anfang möchte ich hier zwei dem Stierlinschen Buche entnommene Abbildungen stellen (Abb. 59 u. 60). Wir sehen hier bei der Aufnahme (Fall 7) nach 6 Stunden den Kontrastschatten bis zur Flexura lienalis vorgerückt. Das Coecum-Ascendens erscheint überhaupt nicht, dagegen ist noch reichliche Kontrastmasse in den mit D bezeichneten Dünndarmschlingen vorhanden. Die zweite Abbildung (Fall 8) gibt ein ähnliches Bild, das aber noch durch die starke Gasansammlung (Luftkeule) in der Stelle der Flexura

hepatica bemerkenswert ist. Die Pfeile markieren den haustrenlosen, kranken Darmabschnitt. Beide Fälle sind operativ als Tuberkulose verifiziert.

Abb. 58. Sarkom der Ileocoecalklappe (faustgroßer Tumor). Fall Schm. Nr. 6. Resektionspräparat.

Fall 9. Fr., Arbeiter, 35 J., 1922. Abt. 32.

Seit 1½ Jahren täglich leichte Kolikanfälle im Gebiet des Nabels, dauernd dabei etwas Durchfall. In der rechten Hüftbeinschaufel des abgemagerten Mannes war eine wenig schmerzhafte Resistenz zu tasten.

Abb. 59. Ileocoecaltuberkulose. Fall 7. Schattenausfall des Coecum-Ascendens. (Nach Stierlin.)

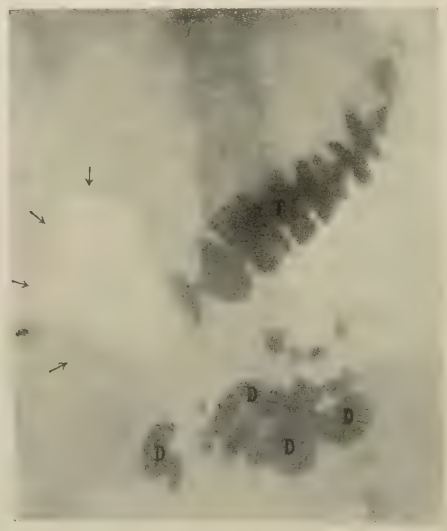


Abb. 60. Ileocoecaltuberkulose. Fall 8. Schattenausfall. Luftkeulenbildung. (Nach Stierlin.)

Auf die Breipassage wurde wegen des schlechten Allgemeinzustandes verzichtet. Der Einlauf ergab

1. einen völligen Schattenausfall des aufsteigenden Dickdarms.

2. Über die Art der Endigung des Schattenfeldes läßt sich nichts aussagen, da das Ende aus dem Konvulut der Leberbiegung sich nicht differenzieren läßt (Abb. 61).

Ohne den Einlauf abzulassen, wurde Luft eingeblasen. Das so erzielte Bild ist in Abb. 62 u. 63 dargestellt. Wir erkennen

1. eine Endigung des Luftfeldes in einer nicht für das Coekum charakteristischen Form in Höhe der Beckenschaufel, also etwa 6 cm zu hoch!

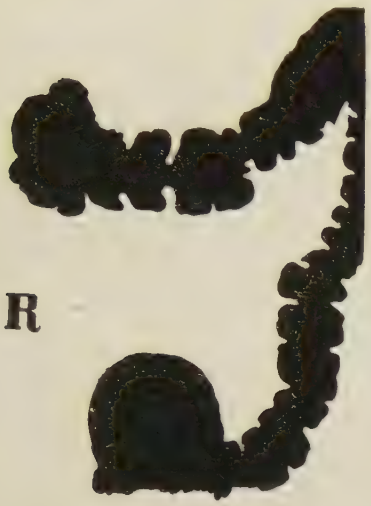


Abb. 61. Tuberkulose des Coecum-Ascendens. Fall Fr. Nr. 9. Einlauf stockt an der Leberbiegung.

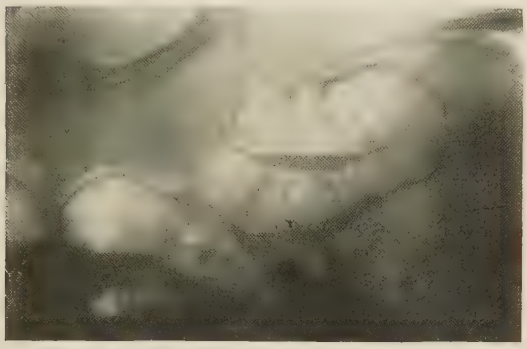


Abb. 62. Tuberkulose des Coecum-Ascendens. Kombinierte Einlaufluftfüllung. Füllungsdefekt des erkrankten Abschnitts. Bogenförmige Abschlußlinien (charakteristisch für Tuberkulose).

2. Die Endigung zeigt eine rundliche Luftfeldbegrenzung und einige feine Flecken im Luftfelde, die als Bariumreste in Geschwürsböden angesehen werden müßten.

Auch bei Erhöhung des Druckes war ein Weitervordringen der Luft nicht zu erreichen.

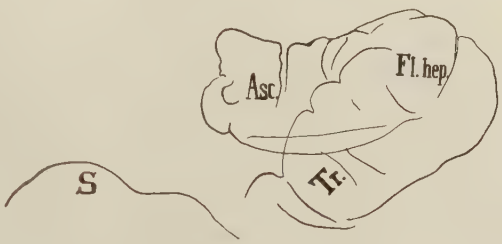


Abb. 63. Zu Abb. 62.

Diagnose: Infiltrativ ulzeröser Prozeß des Coecum-Ascendens. Tuberkulose wahrscheinlich, da Endigung des Luftfeldes rundlich und nicht zackig wie beim Karzinom.

Die Operation brachte uns den in Abb. 64 wiedergegebenen tuberkulösen Coekaltumor, dessen Betrachtung nun einige Rückschlüsse auf den Luftfüllungsmechanismus zuließ. Wir sehen die sehr erhebliche Wandverdickung, die den Tumor in seinem der Klappe nächstgelegenen Teile durchaus karzinomverdächtig erscheinen läßt, während die warzigen Gebilde in dem mehr analwärts befindlichen Bezirk einwandfrei tuberkulös sind. Das Ileum ist wandverdickt und erweitert. Die Darmwand des Ascendens ist im übrigen völlig normal und zeigt keine weitgehende Infiltration, wie häufig in Karzinompräparaten. Bei der Aufblähung ist es hier zu einem Taschenklappenmechanismus gekommen, den ich auf S. 36 bereits an Hand einer schematischen Abbildung

erörtert habe. Der Luftdruck hat hier die portioartig in das Lumen vorspringende Stenose zusammengedrückt und so ein weiteres Vordringen selbst der so leicht beweglichen Luft verhindert. – Die als Flecken erschienenen Geschwüre sind desgleichen im Präparat erkenntlich.

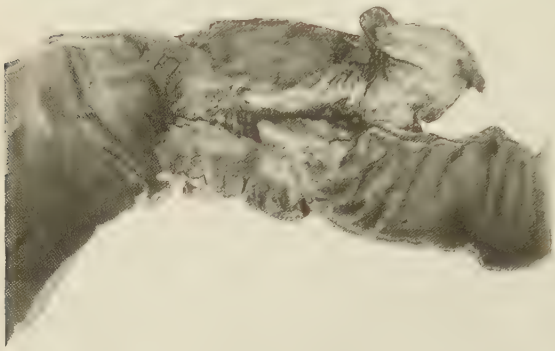


Abb. 64. Tuberkulose des Coecum-Ascendens. Fall Fr. Nr. 9. Resektionspräparat.

Fall 10. W. v. H., 9 J. 1922. Abt. 29.

In der Heredität Lungentuberkulose. Seit $^1/_2$ Jahre Koliken und Durchfälle, Fieber. Fortschreitende Kachexie.

Lokalresistenz in der rechten Beckenschaufel.

In Rücksicht auf den elenden Allgemeinzustand wurde auch hier von der Passage Abstand genommen und gleich mit der Einlaufuntersuchung begonnen.

Einlaufbild (Abb. 65). Wir sehen

1. rasche Haustrierung als Zeichen der Übererregbarkeit,

2. an Stelle einer normalen Ascendensfüllung eine wolkige Marmorierung, die sich unvermittelt an einen Bezirk normaler Füllung anschließt,

3. auffällig zackige Konturierung des Sigma, die ebenfalls Verdacht auf einen pathologischen Wandprozeß erweckt.

Kontrolle durch mehrfache Einläufe ist unterblieben.

Abb. 65. Ileocoekaltuberkulose. Kontrasteinlauf. Fall v. H. Nr. 10. Bild zeigt eine deutliche Stenose des Colon ascendens und Coecum mit ganz zerrissener Füllung. Der orale Schenkel der Sigmaschlinge ist ebenfalls verdächtig, da seine Füllung sehr unregelmäßig ist.

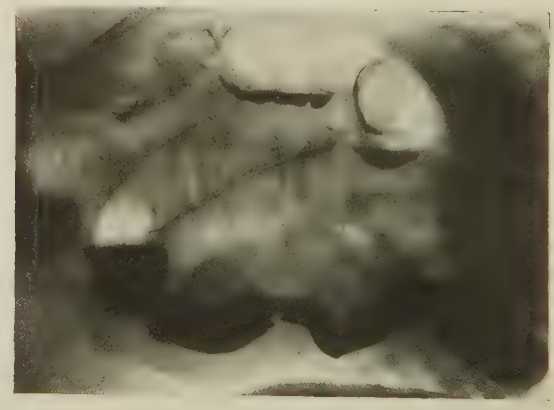


Abb. 66. Ileocoekaltuberkulose. Fall v. H. Nr. 10. Einlauf und Luftfüllung. Schlechte Entfaltung des Coecum-Ascendens, Fleckung, unregelmäßige Kontur.

Nach teilweiser Entleerung des Einlaufes erfolgt Einblasen von Luft per anum. Die so gewonnene Abb. 66 zeigt

1. ein wohl entfaltetes sauber konturiertes Sigma ohne Ulkusflecken,
2. normale Dehnungsfähigkeit des Darms bis zur Mitte des Colon ascendens,

Abb. 67. Tuberkulose des Coecum-Ascendens. Fall v. H. Nr. 10. Resektionspräparat.

3. Mangelhafte Entfaltung des unteren Ascendens und Coekum,
4. unsaubere, fleckige Konturlinien des Coekum von unregelmäßig rundlichem Verlauf,
5. Fleckung des Lumenfeldes des Coecum-Ascendens,
6. Luftblasen im unteren-Dünndarm.

Die Diagnose wurde auf infiltrativ ulzeröse Tuberkulose des unteren Ascendens und Coekum gestellt. Operativ wurde sie bestätigt; der beim Einlaufbild im Gegensatz zum Luftbild verdächtige Teil der Sigmaschlinge wurde als normal befunden.

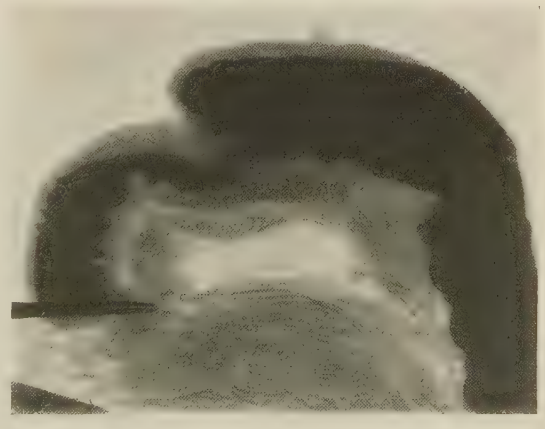


Abb. 68. Resektionspräparat (Abb. 67) gefüllt mit Bariumaufschwemmung. Zum Vergleich mit Abb. 65.

Abb. 67 gibt das aufgeschnittene Präparat wieder. Wir erkennen einen im Transversum, der Flexura hepatica und dem Beginn des Ascendens durchaus normalen Dickdarm. Genau mit unsern röntgenologischen Befunden übereinstimmend sehen wir den Beginn der pathologischen Wandveränderung halbhandbreit distal der Bauhinschen Klappe. Die Mukosa ist hier nicht mehr glatt,

in ihrer geschwürigen Oberfläche ist es hier und da zum Haftenbleiben von Barium-Bolus gekommen. Schwer verändert ist hier auch der Dünndarm. Es ist aus diesem Bilde ohne weiteres ersichtlich, daß der erkrankte Dickdarm der Entfaltung durch Flüssigkeit und Luft nicht folgen kann. Und doch muß dieser Darmteil trotz seiner verminderten Dehnungsfähigkeit noch eine, wenn auch geringe Kontraktilität besessen haben, da er sich nach der Resektion als Präparat stärker mit Kontrastflüssigkeit füllen ließ (Abb. 68) als intra vitam.

Stierlin hat mehrfach betont, daß auch die nicht tumorbildende Tuberkulose zu dem Symptom des Schattenausfall führt. Entsprechend unserm Thema können wir uns damit nicht befassen, immerhin möchte ich einige Bilder von Kremer hier anfügen, der nach der Methode von Fischer tuberkulöse Darmgeschwüre diagnostizierte und sie autoptisch bestätigte. Abb. 69 u. 70 zeigt durch Pfeile markiert einen solchen Geschwürsschatten, dem das ebenfalls wiedergegebene Sektionspräparat entspricht (Abb. 71).

Einer der besten Kenner und Bearbeiter der Ileocoekaltuberkulose, Stierlin, hat ihre Symptome in folgender Weise präzisiert.

A. Stenosierende Form
   1. obligatorisch:
      a) grober Schattenausfall (zirkumskripte Hypermotilität),
      b) Persistierender Dürndarmschatten;
   2. fakultativ:
      a) glatte Konturierung,
      b) Streifung,
      c) Marmorierung.

B. Nicht stenosierende Form
   1. obligatorisch: grober Schattenausfall,
   2. fakultativ:
      a) Persistierender Dünndarmschatten (Ileocoekalklappeninsuffizienz),
      b) glatte Konturierung,
      c) Streifung,
      d) Marmorierung.

Diese Einteilung hat sich als durchaus zweckmäßig erwiesen. Der Schattenausfall ist nicht immer „grob", oft ist er nur ein teilweiser Füllungsdefekt oder eine unregelmäßige Füllung. Er kommt sowohl bei der Einlaufuntersuchung als auch bei der Breipassage zur Beobachtung.

Bei den Geschwülsten (malignen wie entzündlichen) des Coecum-Ascendens sah Stierlin oft eine auffällige Kürze des Colon ascendens, die Kienböck als transversale und longitudinale spastische Zusammenziehung infolge erhöhter Reizbarkeit der Schleimhaut anspricht. Stierlin hält dem entgegen, daß Voraussetzung für eine solche spastische Kontraktion das Erhaltensein der Kontraktilität überhaupt ist und er glaubt in den meisten Fällen eine reelle narbige Schrumpfung verantwortlich machen zu müssen.

Differentialdiagnose zwischen Karzinom und Tuberkulose des aufsteigenden Dickdarms.

Stierlin hat, wie ich bereits bei Besprechung des Schattenausfalls betonte, darauf hingewiesen, daß eine Unterscheidung zwischen der produktiven Tuberkulose und dem infiltrativen Karzinom des aufsteigenden Dickdarms nicht möglich sei: „wir dürfen nicht vergessen, daß derselbe (Schattenausfall) nur ein Ausdruck der

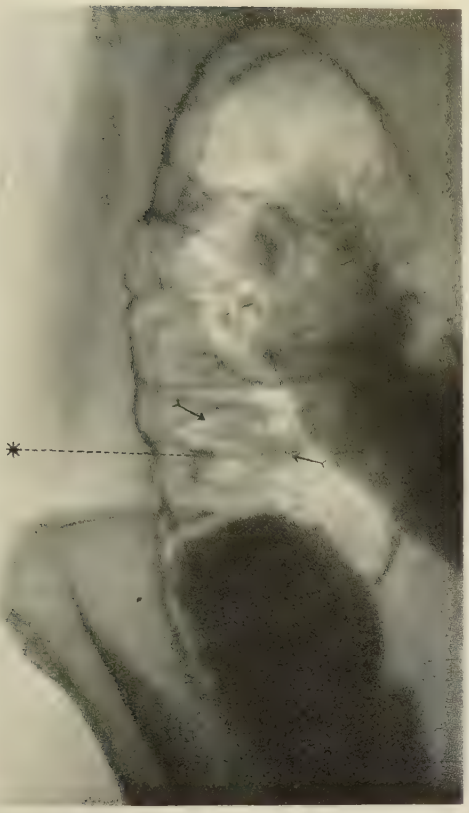


Abb. 69. (Aus Kremer, Beitr. z. Tuberkulose, Bd. 58.) Coecum + Colon Ascendens. Tuberkulöse Geschwüre.

Abb. 70. (Aus Kremer, Beitr. z. Tuberkulose, Bd. 58.) Col. desc. + Flex. lienalis. Tuberkulöse Geschwüre.

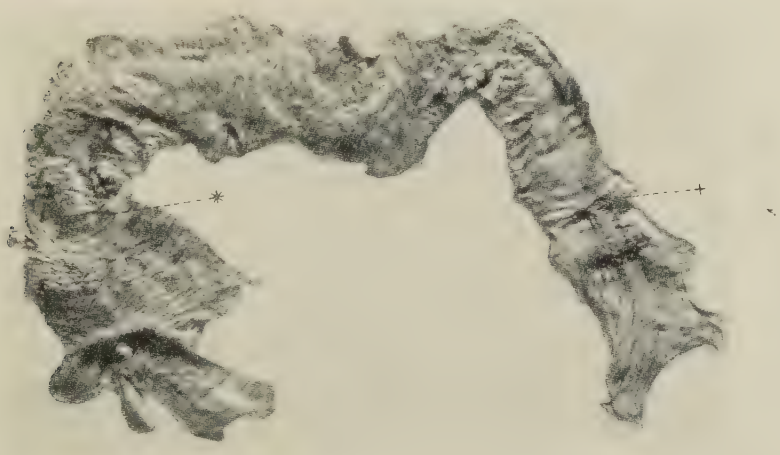


Abb. 71. (Aus Kremer, Beitr. z. Tuberkulose, Bd. 58 S. 140—142.) Resektionspräparat der Abb. 69, 70. Die Ringschatten entsprechen kleinen infiltrativen Mukosadefekten.

grobanatomischen Wandveränderung des Darmes und seiner dadurch veränderten Funktion ist.

Immerhin gibt es eine Reihe von Symptomenkomplexen, die sich in der einen oder andern Richtung verwerten lassen.

Abb. 72. Parametritischer Abszeß. Fall H. Nr. 11. Einlauffüllung. Bild seitenverkehrt. Colon ascendens unregelmäßig entfaltet, in der Mitte verengt.

Das Alter kann nicht differentialdiagnostisch in Rechnung gestellt werden, vielfach sieht man gerade in der Ileocoekalgegend schon Karzinomfälle im Alter zwischen 30 und 40 (de Quervain). Das sei vorwegbemerkt, da es vielfach nicht bekannt ist.

Stierlin betont, daß eine schärfere Begrenzung des Tumors in Verbindung mit einem relativ wenig ausgedehnten Schattenausfall im Röntgenbilde für Karzinom spreche. Dagegen ist bei einem großen Schattenausfall etwa bis zur Flexura hepatica und Fehlen eines palpablen Tumors ein Karzinom mit großer Wahrscheinlichkeit auszuschließen, denn ein derart ausgedehntes Karzinom ist in der Regel auch als Geschwulst zu tasten.

Aßmann weist darauf hin, daß nach seiner Erfahrung ein Karzinom meist schärfer gegen die Umgebung abgegrenzt erscheint und daß die karzinomatösen Erkrankungen eine unregelmäßigere Oberfläche bieten als die tuberkulösen Prozesse.

A. W. Fischer hat desgleichen versucht, röntgenologische Symptome für eine Unterscheidung ausfindig zu machen. Bei der kombinierten Lufteinlauffüllung sprechen scharfzackige spitzige Formen der Luftfeldbegrenzung für einen malignen Tumor, dagegen ist die Tuberkulose durch mehr rundliche Formen gekennzeichnet. Als Erläuterung verweise ich auf die Fälle Abb. 62 und 66. Pathologisch anatomisch ist diese Differenz in der mehr oder minder starren Infiltration der Wand begründet. Beim infiltrativen Karzinom ist die Wand meist härter und unnachgiebiger als bei der infiltrierenden Tuberkulose. So wird es aus dem histologischen Bilde verständlich, warum bei der Luftdehnung der härtere Wandteil sich gegen den normalen schärfer und zackiger ansetzt als bei minder starrer Umwandlung der Schichten. Im wesentlichen stimmt diese Anschauung Fischers mit den Aufzeichnungen Stierlins überein, in der Literatur ist sie noch nicht Gegenstand der Diskussion gewesen. Es muß sich erst herausstellen, ob auch an einer größeren Zahl von Fällen sich eine so überaus wichtige differentialdiagnostische Entscheidung allein nach dem Röntgenbild treffen läßt.

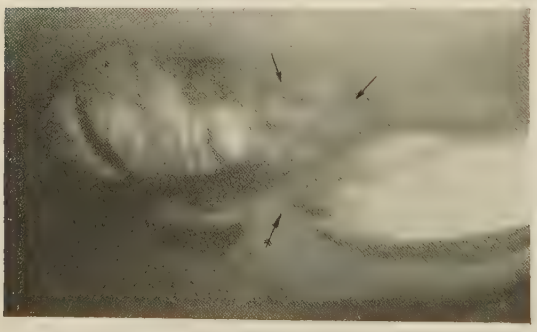


Abb. 73. Fall Hab. Parametritischer Abszeß. Darstellung des Coecum und Colon ascendens nach der kombinierten Methode. Die Pfeile bezeichnen die verengerte Stelle. Man beachte die unregelmäßige Form der Darmkontur. Aufnahme in linker Seitenlage.

Die Pseudotumoren des Coecum-Ascendens.

Gemeinsam ist den Pseudotumoren, daß sie fast nie mit der Ausbildung von Geschwüren der Schleimhaut einhergehen, sondern daß sie meist von außen her den Darm einengen. Eine Reihe eigener Bilder möge die hier zu erwartenden Befunde im Röntgenbilde veranschaulichen.

Fall 11. Frl. Hab., 26 J. 1922. Abt. 25.

Vor 10 Wochen Partus. Seit 6 Wochen krank, Schmerzen im Unterleib und in der rechten Seite. Von anderer Seite Diagnose Ileocoekaltuberkulose.

Einlaufuntersuchung ergibt (Abb. 72)

1. in der Mitte des Colon ascendens unregelmäßige Konturierung und Verengerung des Schattenbandes,

2. Abknickung der Darmlängsachse nach lateral an dieser dem palpablen Tumor entsprechenden Stelle.

Dieser Befund ist konstant!

Nach Ablassen der Einlaufflüssigkeit keine Reste in der verengerten Stelle.

Ohne Ablassen des Einlaufs wird Luft eingeblasen und in linker Seitenlage zeigt sich uns ein Bild, das durch die Pause Abb. 73 wiedergegeben ist. Der Dickdarm hat sich gut entfaltet mit Ausnahme der schon im Einlaufbilde verdächtigen Verengerung. Hier besteht also ganz sicher eine Hemmung in der Entfaltungsfähigkeit des Darmes, die sowohl in als auch außerhalb der Darmwand gelegen sein kann. Fleckungen des Luftfeldes, wie man sie bei Ulzerationen erwarten müßte, sind nicht sichtbar.

Da somit ein Geschwür sich nicht nachweisen ließ, anderseits die Konturen nicht die Scharfzackigkeit einer Karzinomstriktur aufwiesen, wurde die Diagnose auf einen der Darmwand anliegenden entzündlichen Prozeß ohne Mukosaveränderungen gestellt.

Die Operation ergab einen Abszeß, der in der Beckenschaufel aufwärts gestiegen war und hier halbzirkulär von Netz bedeckt den Darm umgab. Ausgang der Eiterung bildete eine postpuerperale Parametritis. Der Darm war durch entzündliche Schwielen gefesselt, seine Wandung selbst aber nicht erkrankt.

Einen ähnlich gelegenen Fall sahen wir als Folge eines appendizitischen Abszesses und konnten ihn als Parallele zu Fall 11 richtig deuten.

Fall 12. Frau Hi., 32 J. 1924. Abt. 27.

Seit ½ Jahr ohne akuten Beginn Schmerzen im Leib besonders in der rechten Seite, erhebliche Abmagerung, Anamnese tuberkulose-verdächtig.

Zur Diskussion als Erklärung für den palpablen, offenbar dem Colon ascendens angehörigen Tumor steht Karzinom und Tuberkulose.

Breipassage: Nach 5 Std. Füllung des Coecum-Ascendens, sehr tiefe Haustrierung mit regelmäßigen Konturen. Ileum noch gering gefüllt (Abb. 74). Nach 7 Std. Ileum leer. Weitere Passage ohne Besonderheiten. Bei Druck auf den Tumor bewegt sich der Darm, die Geschwulst entspricht der Mitte des Colon ascendens und liegt etwas nach außen vom Darmfelde.

Kontrasteinlauf:

Die Füllmasse gelangt nur bis zur Mitte des Colon ascendens an den Tumor heran und läßt sich durch alle erdenklichen Mittel nicht weiter vortreiben. Sowie man den Druck erhöht, sieht man eine spastische handbreite Einschnürung im rechten Transversumteil beginnen, gleichzeitig wird das Descendens und Sigma stark gefüllt und über heftigen Stuhldrang geklagt. Nach diesem Bilde (Abb. 75) bestand also ein totaler Schattenausfall des Coecum-Ascendens. Die Endigung des Schattenfeldes ist nicht zackig, sondern anschließend sind noch einige feine wolkige Fleckchen sichtbar.

Jetzt wird Luft eingeblasen und in linker Seitenlage untersucht (Abb. 76).

Durch den Druck der Luft hat sich die Kontrastflüssigkeit weiter vortreiben lassen, Luft und Flüssigkeit haben nun ein weit in das kleine Becken reichendes Coekum entfaltet. Die Wandkonturen des Coekum und unteren Ascendens erweisen sich als völlig normal, auch an der Tumorstelle scheint der Darm ganz einwandfrei bei der Durchleuchtung auszusehen. Auf der Platte jedoch erkennt man an der Tumorstelle an der Außenseite eine zweifellos anormale Unregelmäßigkeit des Wandverlaufs. Auch eine zweite Aufnahme, die zur Kontrolle von der gleichen Stelle gemacht wurde, bestätigte die Annahme eines irregulären Konturverlaufs. Hier hatten wir also inkongruente Befunde. Bei der Passage ein normales Bild, beim Einlauf einen Füllungsdefekt offenbar durch Spasmus in der Ascendensmitte und bei der Luftaufblähung eine unregelmäßige

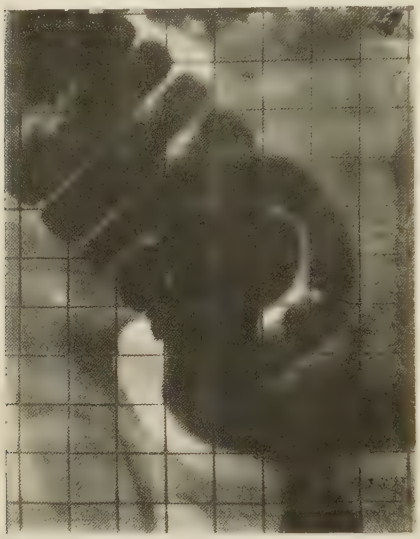


Abb. 74. Appendizitischer Abszeß am Colon ascendens. Fall Hi. Nr. 12. Breipassage.

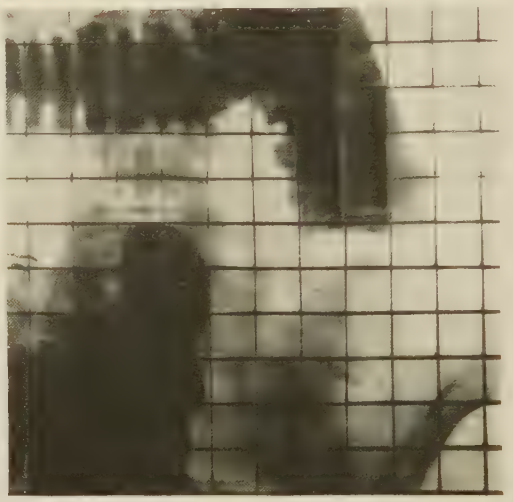


Abb. 75. Appendizitischer Abszeß im Colon ascendens. Fall Hi. Nr. 12. Füllungsdefekt bei Einlauf (seitenverkehrt).

Wandzeichnung an der Tumorstelle ohne Fleckung des Lumenfeldes, also ohne Ulzeration.

In Analogie zu Fall 11 schloß ich auf einen entzündlichen Prozeß, dessen Natur natürlich offen bleiben mußte. Rein zahlenmäßig war in erster Linie an eine Appendizitis zu denken, aber auch Aktinomykose oder dgl. konnte in Betracht kommen.

Die Operation zeigte eine sehr lange Appendix, die retrocoekal nach oben außen geschlagen war und in einem harten Tumor mündete, der beim Eröffnen seines schwieligen Mantels Eiter entleerte. Zuerst wurde an eine Appendixaktinomykose gedacht, ein Verdacht, der sich histologisch aber nicht bekräftigen ließ. Dieser Tumor lag der Außenwand des Ascendens in dessen Mitte an und hatte so zu der sekundären Wandinfiltration geführt.

Große diagnostische Schwierigkeiten bereitete uns

Fall Nr. 13. Ros., Student, 24 J. 1924. Abt. 30.

In der rechten Unterbauchgegend entwickelte sich ohne wesentliche Beschwerden eine faustgroße indolente harte, höckrige Geschwulst. Vermutungsdiagnose Beckensarkom, Coekaltumor. — Kein Fieber.

Breipassage ergab zwar mehrfach ein schlecht entfaltetes Ascendens etwa in seiner Mitte, zeigte aber einmal auch einen durchaus normal geformten Schattenriß des Coecum-Ascendens.

Einlauf bringt das Coekum gut zur Darstellung. Tumor entspricht einem Ort beckenwärts des Coekalendes. — Luftblähung zeigt gut entfaltetes Coekum.

Pneumoperitoneum Prof. Goetze (Abb. 77). Bauchdecken erweisen sich am Tumor spindelig verdickt, diese Verdickung stellt den Tumor dar. Das noch teilweise mit Kontrastbrei gefüllte Coekum ist gerade an der Stelle größter Tumorbreite fixiert. Verwachsungen ziehen von Coecum-Ascendens zum Tumor.

Diagnose: Appendizitischer Abszeß in die Bauchdecken perforiert. — Operation erweist die Richtigkeit dieser Diagnose.

Wesentlich hochgradigere Veränderungen wies das Röntgenbild in einem

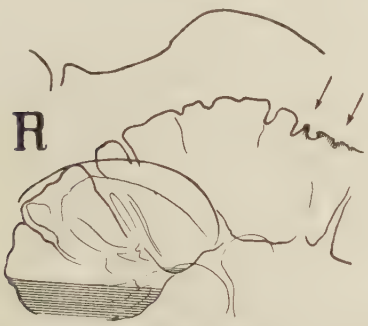


Abb. 76. Appendizitischer Abszeß. Pause der Platte Fall H. Nr. 12. Kombinierte Bariumluftfüllung. Linke Seitenlage. Pfeile zeigen die konstante Wandunregelmäßigkeit, die der palpablen Geschwulst entspricht.

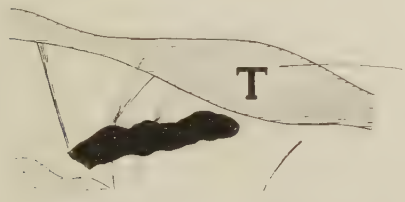


Abb. 77. Appendizitischer Abszeß mit Penetration in die Bauchdecke. Fall R. Nr. 13. Pneumoperitoneum (Prof. Goetze). Linke Seitenlage. Coecum zieht noch zum Teil gefüllt zu einer spindeligen Verdickung der Bauchdecken, die dem tastbaren Tumor entspricht. Verwachsungsstränge verbinden das Coecum mit der Geschwulst. — Plattenpause.

Abb. 78. Stenose des Dickdarms bei Peritonealtuberkulose. Fall H. Nr. 14. Kontrasteinlauf und Lufteinblasung. Aufnahme im Stehen. Stenose im rechten Transversum und im Ascendens. Pfeile bezeichnen Stenose und kleine Luftblase im Coecum (Peritonealtuberkulose).

Fall von obliterierender Peritonealtuberkulose auf, bei der der Darm ebenfalls durch die tuberkulösen Drüsentumormassen nur sekundär beteiligt war. Ich gebe von diesem Fall nur den Einlaufbefund:

Fall 14. Frau H., 38 J. 1922. Abt. 35.

Wir erkennen auf dem im Stehen aufgenommenen Bild nach kombinierter Luftbariumfüllung eine enge Stenose im rechten Transversum, dann eine Füllung an der Flexura hepatica und einen spitzen Fortsatz in Richtung des Colon ascendens. Durch Seitenlagerung und mäßige Erhöhung des Luftdruckes gelang es dann, die beiden Stenosen noch deutlicher zur Anschauung zu bringen. Die Luft füllte offenbar auch den

Endteil des Ileum aus. In den Luftfeldern war keine Fleckung als Anhalt für geschwürige Prozesse sichtbar (Abb. 78).

Die Obduktion zeigte eine schwielige Infiltration der Darmwand verbunden mit einer ungeheuren Bauchfelltuberkulose, die das Netz und die Därme unlösbar fest verkittet hatte. Im Dickdarm selbst waren keine Ulzera sichtbar.

Der Literatur entnehme ich zwei Bilder aus diesem Gebiete, die mir eine wichtige Ergänzung meiner eigenen Fälle zu geben scheinen:

Fall 15. Goldammer, 56 jähr. Frau.

Seit Jahren Schmerzen in der rechten Seite, Entwicklung einer Geschwulst, starke Abmagerung. Diagnose Dickdarmkarzinom.

Lokal in der rechten Unterbauchgegend eine reichlich faustgroße harte, höckrige, auf Druck kaum empfindliche Geschwulst.

Abb. 79. (Nach Goldammer.) Appendizitischer Tumor. Einlaufbild. Fall Nr. 15.

Einlauf zeigt eine normale Füllung bis an den Tumor, dann verliert der Darm seine normale Form und auf daumenbreiter, unscharf konturierter Straße fließt die Kontrastmasse in das Coekum und Ileum. Das Querkolon ist in der Klappengegend unverschieblich mit dem Tumor verwachsen. Ein derartiges Bild mußte als Karzinom gedeutet werden (Abb. 79).

Die Operation ergab aber einen faustgroßen entzündlichen Tumor, in dessen Mitte die Appendix lag. Die Schleimhaut des Coekum war unverändert.

Durchaus ähnliche Bilder bringt uns Ström. Er betont, daß ein perityphlitisches Infiltrat ein Bild ergeben kann, das röntgenologisch ganz der Ileocoekaltuberkulose oder einem malignen Tumor gleicht. Das bei Kontrasteinlauffüllung des Dickdarms gewonnene Bild zeigt ebenso wie das Bild bei der Breipassage einen Füllungsdefekt in der Mitte des Ascendens, während das Coekum gut gefüllt erschien. Abb. 80 entspricht der Situation 24 Stunden nach Einnahme der Kontrastmahlzeit, Abb. 61 der Einlauffüllung. Der Schattenausfall ist beim Einlaufbilde nicht komplett, man erkennt eine unregelmäßige Füllung, die eine Stenose zu beweisen scheint. Die Operation ergab eine nach oben geschlagene Appendix mit Spitzenperforation.

Die meiste Zeit und Mühe kosten uns die „Verdachtsfälle", bei denen nach langwieriger Untersuchung eine Beteiligung des Dickdarms an irgendeinem Symptomenbild abgelehnt werden muß. So möchte ich zwei solcher Fälle hier kurz skizzieren, die beide das Coecum-Ascendens betreffen, bei beiden war klinisch der dringende Verdacht auf einen malignen Tumor dieser Gegend ausgesprochen.

Fall 16. Dr. Sch.-K., 60 J. 1924. Abt. 14a.

Seit Monaten bemerkt Patient in der rechten Unterbauchgegend einen Tumor, den er verschieben kann, der angeblich wechselnd groß ist. Keine Obstipation, kein Durchfall.

Lokal ist ein lateral und medial etwas verschieblicher Tumor vorhanden, der wechselnd gut zu tasten ist; er scheint bis an den Rippenbogen und bis in das kleine Becken zu reichen.

Einlaufuntersuchung: Der Einlauf erfüllt den Dickdarm rasch bis zur Flexura hepatica, hier stockt die Masse etwa in Gegend des Tumors, aber bei Lagerung auf die rechte Seite fließt der Einlauf auch in das Ascendens und bringt dieses und das Coekum vollauf normal zur Darstellung. Kein Füllungsdefekt. Der Tumor ist deutlich am medialen Ascendensrande zu tasten, zum Teil scheint er das Ascendens zu überlagern.

Abb. 80. (Nach Ström.) Appendizitis-Füllungsdefekt (seitenverkehrt).

Abb. 81. (Nach Ström.) Appendizitis-Füllungsdefekt (seitenverkehrt).

Auch die Luftblähung zeigte völlig normale Dehnungsfähigkeit des Dickdarms und keinerlei Anhalt für einen Darmtumor, nur der Anfangsteil des Transversum, der bei der Einlauffüllung gut sichtbar gewesen war, ließ sich nicht recht entfalten. Abb. 82 zeigt das Coecum-Ascendens. Besonders aufmerksam möchte ich auf die eigenartigen polypenähnlichen Schatten machen, die schräg getroffenen Sulcis entsprechen.

Dieser röntgenologische Befund ließ den zuerst bestehenden Verdacht auf einen Coekaltumor aufgeben. Es konnte sich nur um einen außerhalb des Darmes gelegenen Tumor handeln, der offenbar nicht zu einer infiltrativen Beteiligung der Darmwand geführt haben konnte.

Abb. 82. Polypenverdächtige Bildungen im Coecum-Ascendens die den schräg getroffenen Sulci pentsprechen. Fall Sch. K. N. 16. Kombinierte Bariumluftfüllung. Linke Seitenlage. Plattenpause.

Von klinischer Seite wurde nach dem Ausschluß eines Darmtumors die Diagnose auf einen ungewöhnlich großen Gallenblasenhydrops gestellt. Die Operation bestätigte diese Diagnose. So wurde auch klar, warum beim Einlauf eine Stockung in der rechten Transversumhälfte dicht an der Flexura hepatica aufgetreten war und warum hier die Luftfüllung den Darm nicht gut dargestellt hatte. An dieser Stelle lag die hydropische Gallenblase über dem Darm und drückte auf ihn, ohne aber mit ihm verwachsen gewesen zu sein.

Noch ein weiterer Fall von Tumorverdacht sei kurz angefügt:

Fall 17. A., Kaufmann, 43 J. 1924. Abt. 12a.

Beschwerden sind verdächtig auf einen Tumor der Coekalgegend mit beginnender Stenosierung. Nebenbei bestehen Symptome einer Neurasthenie. Ein Tumor in der rechten Beckenschaufel ist nicht zu tasten.

Die Einlaufuntersuchung ergibt rasche Füllung bis zum Transversum, schon bei der Füllung rasch vorübergehende Spasmen in diesen Darmteilen, die mit Erweiterungen abwechseln. Das Ascendens füllt sich nur im Beginn, Erhöhung des Druckes und Lagerung auf die rechte Seite erzielen ebensowenig wie Massage eine Ausfüllung des Coekum.

Es wird nun nach einer Pause Luft eingeblasen, die gut vertragen wird und die die Einlaufmasse weiter vortreibt. Es erscheint ein sehr weites, ganz offenbar dilatiertes Coekum und unteres Ascendens, die Füllmasse tritt durch die schlußunfähige Klappe in das untere Ileum über.

Wir sehen also nichts von Tumor, aber ein sicheres, nicht wandveränderndes Hindernis in der Mitte des Ascendens, das zu einer Dilatation des Coekum und des Ascendensbeginns geführt hat und eine Insuffiziens der Valvula Bauhini bewirkt hat.

Die Operation bestätigte diese Diagnose vollkommen, die Appendix lag nach oben geschlagen an der Leber durch Verwachsungen fixiert und so war das Ascendens in seiner Mitte abgeknickt. Diese Knickung hatte die Beschwerden, leichte Koliken, Druckschmerz und durch Erweiterung des Coekum ein Blähungsgefühl in der rechten Seite verursacht.

Die Invaginationstumoren.

Am Abschluß der Besprechung der Coecum-Ascendenstumoren sei noch einer Affektion gedacht, die uns, wenn auch nur in seltenen Fällen, differentialdiagnostisch beschäftigen wird. Von den Patienten mit Invagination kommen für die Röntgenuntersuchung nur die Fälle ohne Ileus in Betracht, da für die Verschlußfälle die Indikation sofortiger Operation besteht.

Aus den Fällen der Literatur (Groedel, Stierlin, Altschul, Lehmann, Muff, Czepa, Regnier, Karewski, Kloiber) geht hervor, daß sich die Diagnose in Fällen einer lockern, nicht einen völligen Verschluß bedingenden Invagination unschwer stellen läßt.

Die Kontrastbreipassage weist die Stenose nach, meist ist die Entleerung des Ileum erheblich verzögert, dieses dilatiert (Fall Groedel auf Dickdarmbreite). Eindrucksvoll sind besonders die durch den Kontrasteinlauf erzielten Bilder. Zur Erläuterung seien einige Fälle kurz skizziert.

Fall 18. Altschul: 61 jähr. Patientin.

Schmerzen in Magengegend und rechtem Unterbauch, Stuhl bandartig, mühsame Entleerung. Zunehmende Verstopfung.

In der Ileocoekalgegend ist ein längsovaler, von rechts oben nach links unten verlaufender, verschieblicher Tumor zu tasten.

Einlaufuntersuchung ergebnislos.

Breipassage: Abb. 83 zeigt die Situation nach 12 Stunden. Unteres Ileum dilatiert, stark gefüllt. Schattenausfall des Coecum-Ascendens. In Gegend der Flexura hepatica ein breiter zerklüfteter Schatten ohne Haustration. Dieser Schatten endigt blindsackartig handbreit analwärts der Leberbiegung des Colon, sein Ende ist konisch zugespitzt und zu beiden Seiten von Gasblasen umgeben. Gegen das übrige, völlig normal aussehende Transversum ist der Schatten durch einen schmalen halbkreisförmigen hellen Streifen abgegrenzt.

Diagnose: Invagination des Ileum in das Coecum-Ascendens: — Operativ bestätigt. Ursache kein Tumor.

Das negative Resultat der Einlaufuntersuchung erklärt Altschul mit dem Wechsel im Befunde dieser nicht straffen Invaginationen. Oft geht sicher die Invagination zurück, wenn die Leute einige Tage bei leichter Kost im Bette liegen. Auch kann es wohl

vorkommen, daß durch den Einlauf das Invaginatum zurückgedrängt wird. Das mag vielleicht auch in dem Falle Groedels ähnlich gewesen sein.

Muff hat auf die Verkürzung des Dickdarms im Bereiche der Intussuszeption hingewiesen, die Haustren waren dadurch rosetten- bzw. harmonikaartig zusammengeschoben, die Flexuren standen tief. Im Bereich des Colon ascendens sah er ein schmales Schattenbild, das sich im Anfang des Transversum in einen feinen Schattenstreifen auflöste. Um dieses dem Invaginatum entsprechende Schattenband lag das gasgefüllte Invaginans (Coekum und Ascendens). Auf die Verkürzung und den Tiefstand der Flexur hat auch Karewski aufmerksam gemacht. Daß nicht in jedem Falle von Invagination auch eine Verzögerung der Breipassage vorliegt, beweist ein sehr schön durch

Abb. 83. Invagination. Fall Altschul. Breipassage 12 Std. p. c.

Abb. 84. Invagination. Fall Czepa. Einlauf umscheidet das Invaginatum.

Abb. 85. Mesenterialstein, der verkalkten Mesenterialdrüsen entspricht und zu Täuschungen Veranlassung geben kann. (Abbildung ist seitenverkehrt!)

das Einlaufsbild geklärter Fall von Lehmann. Sehr instruktive Bilder nach Kontrastklysmaapplikation sind von Czepa und Lehmann veröffentlicht.

Fall 19. Czepa, 40 jähr. Frau.

Seit Monaten Schmerzen, Obstipation.
Palpabel länglicher Tumor von der Ileocoekalgegend bis zum Nabel.

Der Einlauf läuft ohne Schwierigkeiten bis zur Mitte des Transversum, hier endigt er halbkreisförmig, als ob er einen kugeligen Tumor umflösse. Von dieser Stelle ist nach der rechten Beckenschaufel zu der oben erwähnte Tumor tastbar (Abb. 84).

Die Obduktion (Operation war abgelehnt worden) zeigte eine Invagination des unteren Ileum auf eine Strecke von 30 cm in das Colon. Kein Tumor an der Spitze des Invaginats.

Ein ganz gleichartiges Bild stammt von Lehmann, hier floß die Füllmasse noch mehrere Zentimeter um das Ende des Invaginats oralwärts.

In den Fällen von schwerem Ileus kann das Verfahren von Kloiber: Durchleuchtung ohne Kontrastmittel wertvoll sein.

Mesenterialsteine als Täuschungsquellen.

Verkalkte Mesenterialdrüsen geben ebenfalls einen Schatten im Röntgenbilde, der außerordentlich dem eines bariumerfüllten Darmstücks gleichen kann. Um auf diese Möglichkeit aufmerksam zu machen, füge ich eine derartige Abbildung bei (Abb. 85).

B. Die Tumoren an der Flexura coli dextra.

Wie an jeder Biegung des Dickdarmes, so ist auch hier die Übersicht über die Schlingen erschwert. Trotz aller Mühe ist es oft ganz außerordentlich schwierig, sich ein klares Bild über diesen Darmabschnitt zu verschaffen. Die Abb. 86 gibt schematisch einen Überblick über den Verlauf des Darmes an der Leberbiegung, der hier einmal in horizontaler, dann in sagittaler Ebene sich wendet. Neben all den schon aufgeführten Tumoren und Pseudotumoren handelt es sich hier auch des öfteren um die Feststellung,

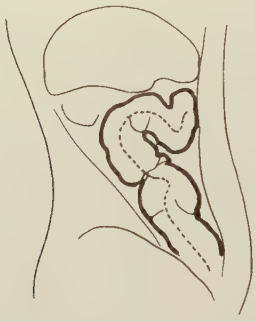


Abb. 86. Verlauf des Dickdarmes an der Flexura hepatica (schematisch nach einem Formolpräparat von Corning).

Abb. 87. Carcinoma vesicae felleae. Fall G. Nr. 20. Lufteinblasung. Tumor × erscheint im Colonluftfelde. Plattenpause. Aufnahme im Stehen.

ob ein tastbarer Tumor der Gallenblase oder dem Darm angehört. Einen Fall dieser Art, bei dem die Gallenblase dem Ascendens anlag, habe ich schon auf S. 57 mitgeteilt. Für die Beurteilung solcher Fälle muß man alle zur Verfügung stehenden Methoden, also Passage, Einlauf und Bariumluftfüllung heranziehen. Erschwert wird die Darstellung dieses Darmteils noch durch die sehr häufigen Verwachsungen zwischen dem Ascendens und Transversum, die eine spitzwinklige Gestaltung des Flexur bewirken. Sehr vorteilhaft ist die Durchleuchtung in Bauchlage. Bei Untersuchung im Stehen wird man nicht viel sehen können, denn der Schwere nach sinkt die Füllung in die tieferen Darmteile. Für die Luftuntersuchung allein ist Durchleuchtung im Stehen das Gegebene, da die Luft den Darm aufwärts treibt und ihn zwingt, sich der Leber anzulegen. Gallenblasentumoren erscheinen dann als Hervorragungen über den sich scharf abzeichnenden unteren Leberrand.

Fall 20. G., Arbeiter, 56 J. 1922. Abt. 30.

Unter dem rechten Rippenbogen ist ein kinderfaustgroße harte Geschwulst zu tasten, die offenbar den Darm oder der Leber angehört.

Bei der Luftblähung zeigt sich der Dickdarm völlig normal, die Wandkonturen regelmäßig, das Luftfeld sauber. In der Gegend der Gallenblase ragt eine hühnereigroße Verschattung in den Darm hinein, die dem Tumor entspricht (Abb. 87).

Abb. 88. Ca flex. hepatica mit Beteiligung der Valvula. Fall G. Nr. 21. Breipassage (12 Std.) Stauung im dilatierten Ileum, Defekt an der Klappe, starke Füllung des Ascendens. Füllung der Appendix. (R. Abt. Med. Univ.-Kl. Frankfurt, Dr. Berg.) Die Abbildung ist seitenverkehrt!

Abb. 89. Carcinoma flexura hepaticae mit Beteiligung der Valvula. Breipassage nach 24 Std. Rückstauung in das Ileum. Stagnieren des Ascendensinhaltes, geringe Kontrastkotmengen im Colon sigmoideum. (R. Abt. Med. Univ.-Kl. Frankfurt, Dr. Berg.) Die Abbildung ist seitenverkehrt!

Diagnose: Gallenblasenkarzinom. — Operation: bestätigt diese Annahme.

Das Karzinom dieser Gegend hat keine Besonderheiten, es stellt sich als Füllungsdefekt in bekannter Weise dar.

Fall 21. G., 68 J. 1924. Abt. 14a.

Seit ¼ Jahr viel Blähungen; Stenosensymptome. In der rechten Unterbauchgegend Geschwulst tastbar.

Breipassage: Dünndarm dilatiert, nach 12 Stunden noch stark gefüllt.

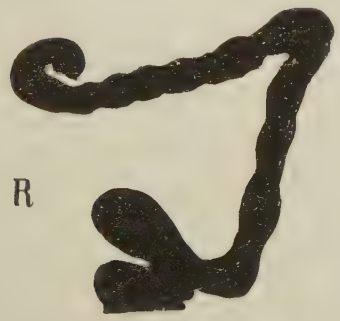


Abb. 90. Carcinoma flex. hep. Fall G. Nr. 21. Einlauf stoppt an der Leberbiegung mit zackigem Ende (Pause bei Durchleuchtung.) Med. Univ.-Kl. Frankfurt, Dr. Berg.)

Abb. 91. Karzinom der Flexura hepatica und des Colon ascendens. Fall Spr. Nr. 22. Konstanter Befund eines verzerrten verengten Kanals. Breipassage 10 Stunden p. c.

Coekum fleckig, Stagnation an der Flexura hepatica. An der Valvula zackige Aussparung (Abb. 88 u. 89).

Einlaufuntersuchung: Die Flüssigkeit fließt rasch durch Sigma, Deszendens und Transversum, entfaltet diese Darmteile gut, stockt dann an der Flexura hepatica und läßt sich hier nicht weiter vortreiben (Abb. 90).

Operation: An der Flexura hepatica ist ein faustgroßer Tumor tastbar, der sich nach der Ileokoekalklappe hinunter erstreckt. Der Tumor ist nicht operabel.

Fall 22. Spr., 1919. Abt. 32.

Von diesem Fall sei nur die Aufnahme der Breipassage nach 12 Stunden wiedergegeben, die einen deutlichen Ausguß der Tumorstenose uns zeigt (Abb. 91).

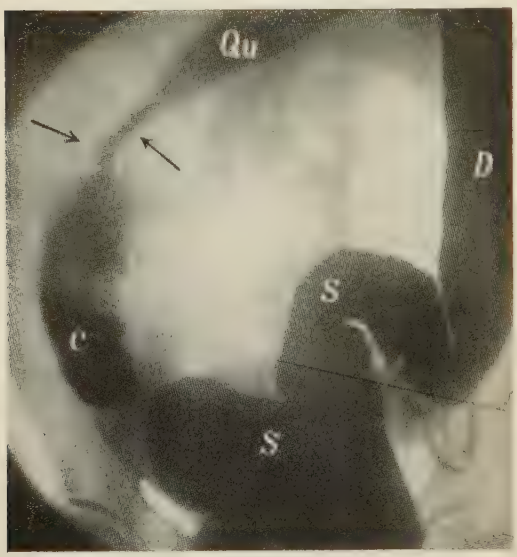


Abb. 92. (Nach Schwarz, Lehrbuch Schittenhelm.) Stenosierende Tuberkulose an der Flexura hepatica.

Einen Fall stenosierender Tuberkulose der Flexura hepatica mit einer röhrenförmigen Lumeneinengung entnehme ich der Arbeit Schwarz (Abb. 92).

Fall 23. 21 jähr. Mädchen. Lungentuberkulose.

Breipassage ergab nichts Sicheres.

Einlauf erfährt erstes Hindernis an der Flexura lienalis, unter Schmerzen blähen sich die analwärts gelegenen Darmteile auf. Allmählich wird diese erste Stenose überwunden und eine zweite enge Stelle an der Flexura hepatica wird sichtbar, deren Bild in der Abb. 92 wiedergegeben ist. Der Darm ist hier zu einem unregelmäßigen ein Finger breiten Kanal verengt.

Bei der Autopsie zeigten sich stenosierende tuberkulöse Prozesse.

Auch der Fall H. Nr. 14 mit der Stenose an der Flex. hepatica gehört hierher.

Zu befassen haben wir uns in dieser Gegend auch des öfteren mit leichten Colonstenosen nach Gallenblasenexstirpationen. Zuweilen entwickeln sich hier Verlötungen des Gallenblasenleberbettes mit dem Colon an der Leberbiegung und dann ist es notwendig, durch die Untersuchung einen Tumorprozeß des Dickdarms auszuschließen. Spasmen an dieser Stelle wiesen uns immer auf die richtige Diagnose.

C. Die Tumoren des Colon transversum.

Auch das Colon transversum ist nicht ganz leicht röntgenologisch zu übersehen. Jedenfalls ist eine genaue Untersuchung wieder von mehreren Durchleuchtungen in verschiedenen Positionen abhängig. Wir durchleuchten im Stehen und in Bauchlage bei Kontrastfüllung, in rechter und linker Seitenlage und im Stehen bei der kombinierten Methode (Bariumeinlauf und Lufteinblasung). Ebenso wie an der Flexura hepatica sind hier die Pseudotumoren seltener, wir haben es fast ausschließlich mit Karzinomen zu tun.

An Hand einiger Fälle seien mehrere Bilder besprochen.

Fall 24. Frau W., 74 J. 1921. Abt. 14.

Seit ¼ Jahr Leibschmerzen, abwechselnd Durchfall und Verstopfung. Nie Blut- und Schleimabgang. Gewichtsabnahme.

Kein Tumor palpabel.

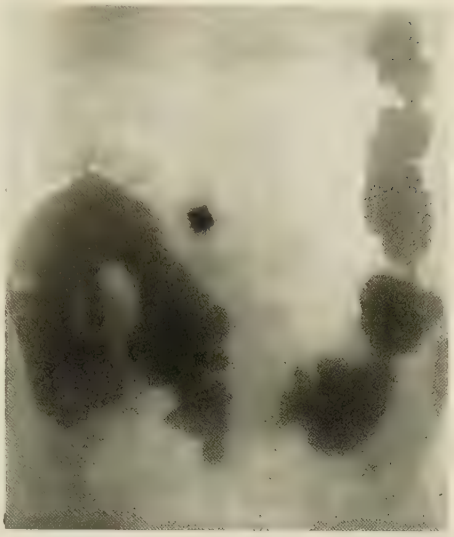


Abb. 93. Carcinoma coli transversi. Fall W. Nr. 24. Kontrastbreipassage. Füllungsdefekt. Platte leider zerbrochen, deshalb muß dieser Abzug genügen!

Breipassage: Das nach 10 Stunden aufgenommene Bild (Abb. 93) zeigt eine mäßige Füllung des Coecum-Ascendens — deutlich sichtbaren Wurmfortsatz, weiter normale Verhältnisse bis zur Mitte des Querkolon. Hier etwas nach links von der Mittellinie sehen wir eine spitzige Endigung des Kontrastfeldes, dann einen Defekt der durch einige wolkige Trübungen überbrückt wird. Jenseits dieses bei mehreren Durchleuchtungen stets gleichmäßig befundenen Defektes ist das Transversum gleichmäßig haustriert, gefüllt bis zur Flexura lienalis. Bemerkenswert ist, daß keine wesentliche Stenosierung in diesem Falle zu verzeichnen ist. Höchstens die gute Darstellung der Appendix könnte in diesem Sinne gedeutet werden. Ein Kontrasteinlaufbild zu diesem Falle liegt nicht vor, es würde entweder ein ähnliches Bild ergeben haben oder hätte eine Stauung am analen Ende der Stenose gezeigt.

Diagnose: Nicht stenosierendes Karzinom in der Mitte des Querkolon.

Die spitzige Endigung entspricht ganz dem Bilde eines Karzinoms, aus der Form des Füllungsdefektes wird auf einen szirrhösen Tumor geschlossen.

Operation ergab einen szirrhösen hühnereigroßen Tumor in der Mitte des Querkolon, der durch Resektion sich entfernen ließ (Abb. 94).

Einen lehrreichen Fall, der die für die Diagnose oft sehr zweckmäßige Kombination von Kontrastbreipassage und Kontrasteinlauf erweist, habe ich der Schwarzschen Arbeit im Schittenhelmschen Lehrbuch entnommen.

Fall 25. Schwarz (S. 968). 60 jähr. Frau.

Seit 1 Jahr Verstopfung und Koliken. Undeutliche Resistenz am rechten Rippenbogen.

Abb. 94. Karzinom des Querkolon. Resektionspräparat. Fall W. Nr. 24. Tumor entspricht dem Füllungsdefekt.

Breipassage: Nach 24 Stunden ist der Kontrastbrei erst bis zur Flexura hepatica gelangt. Coecum-Ascendens zwar geräumig, aber nicht anders als bei einer Obstipation vom Ascendenstypus. Ein kleines Wismutpartikelchen liegt im Be-

ginn des Transversum. In dieser Situation wurde nun ein Kontrasteinlauf verabfolgt.

Kontrasteinlauf entfaltet rasch Sigma, Descendens und das Transversum bis er handbreit von der Flexura hepatica halt macht und auf keine Weise sich weiter vortreiben läßt. Dieser helle Zwischenraum zwischen der Endigung des Breis und des Klysma entspricht der zu tastenden Resistenz (Abb. 95).

Diagnose: Karzinom am Beginn des Colon transversum.

Operation: bestätigt diese Diagnose.

Ganz gleich liegt ein Fall Stierlins.

Fall 26. 40 jähr. Mann. S. 504.

Kolikartige Schmerzen in Bauchmitte ohne fühlbaren Tumor.

Breipassage: Nach 24 Stunden armdick dilatiertes proximales Colon transversum: ein feiner Schattenzipfel reicht distalwärts. Einen Tag später Hinzufügen eines Kontrasteinlaufes (Abb. 96). Zwischen den beiden Schattenabschlußlinien befindet sich ein schmaler vollkommen schattenfreier Streifen. Infolge der Schmalheit des Schattenausfalls wurde ein Skirrhus angenommen.

Diagnose: Scirrhus coli transversi.

Operation: bestätigt die Diagnose.

Abb. 97 zeigt das Resektionspräparat.

Abb. 95. Karzinom des Querkolon. Füllungsdefekt (Pfeile). Darmteile durch Buchstaben markiert. (Nach Schwarz-Schittenhelm.)

Fall 27. Schwarz (S. 967), 33 jähr. Mann.

Seit 5 Monaten Schmerzen im Rücken. Zuerst Diagnose: Nierenstein. Im Urin Blutfarbstoff. Durchfälle.

Objektiv im Abdomen nichts palpabel.

Einlaufuntersuchung (Abb. 98): Das Querkolon ist in seiner linken Hälfte in einer Ausdehnung von 15 cm kanalartig verengt, wobei das Lumen in der Mitte des Kanals sich spindelig verbreitet. Dieser Befund ist bei drei an verschiedenen Tagen vorgenommenen Untersuchungen absolut konstant. — Kein retrogrades Passagehindernis.

Diagnose: Zerfallendes, nicht stenosierendes Karzinom des Querkolons.

Operation: abgelehnt. Exitus nach 3 Monaten an Blutungen.

Obduktion: Karzinom des Colon transversum nahe der Flexura lienalis.

Ein ganz ähnlicher Fall der Frankfurter Klinik sei desgleichen angefügt.

Fall 28. Wa., Weißbindermeister, 47 J. 1923. Abt. 30.

Seit 1 Jahr Schmerzen im Oberbauch, Röntgenuntersuchung außerhalb negativ. Diagnose Magenneurose!!

Palpatorisch Resistenz in der Mittellinie des Oberbauchs.

Abb. 96. Karzinom des Querkolon (Scirrhus). Füllungsdefekt Pfeil. (Nach Stierlin.)

Abb. 97. Resektionspräparat zu Abb. 96. (Nach Stierlin.)

Breipassage: Ileum nach 7 Stunden leer. Coecum-Ascendens weit, gut gefüllt, Kontrastmasse endigt mit einem fingerförmigen Fortsatz am rechten Rande der Resistenz (Abb. 99).

Nach 12 Stunden Bild unverändert, nur befinden sich einige Knollen abwärtswandernd im Descendens.

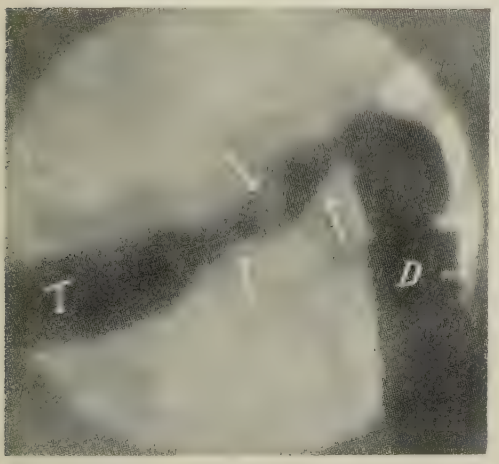


Abb. 98. Karzinom des Querkolon. Stenosierter Abschnitt (Pfeile). (Nach Schwarz-Schittenhelm.)

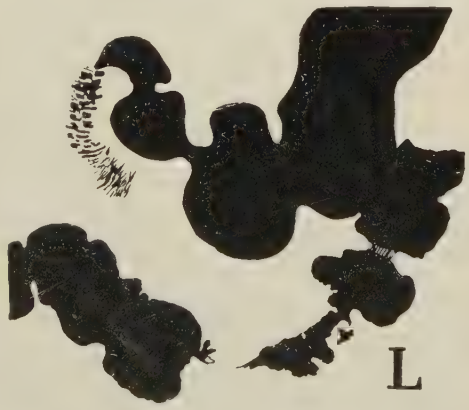


Abb. 99. Karzinom des Querkolon. Fall Wa. Nr. 28. Breipassage nach 10 Stunden mit erneuter Magenfüllung, um eventuell Beziehungen zwischen Füllungsdefekt am Kolon und dem Magen aufzudecken. Pause nach Platte.

Nach 24 Stunden Rest im Coecum-Ascendens, Transversum ganz leer, Kontrastkot im Sigma und in der Ampulle.

Nach 48 Stunden noch Rest im Coekum.

Einlauf stockt etwa am linken Rande der Wirbelsäule und dringt nicht weiter vor, auch durch Druckerhöhung und Massage sowie Lagerung auf die rechte Seite ist eine weitere Füllung nicht erreichbar.

Wir sehen also in diesem Falle, daß trotz mehrfacher Untersuchung die Breipassage keinen Füllungsdefekt, d. h. keinen kontrastbreilosen Bezirk zwischen zwei normal gefüllten Darmbezirken ergab, sondern daß nur ein fingerförmiger Fortsatz in der Mitte des Transversum vorhanden war. Wäre kein Tumor palpabel gewesen, so wären wir allein auf Grund der Passage kaum zu einem klaren Urteil gelangt. Wir wissen, daß ge-

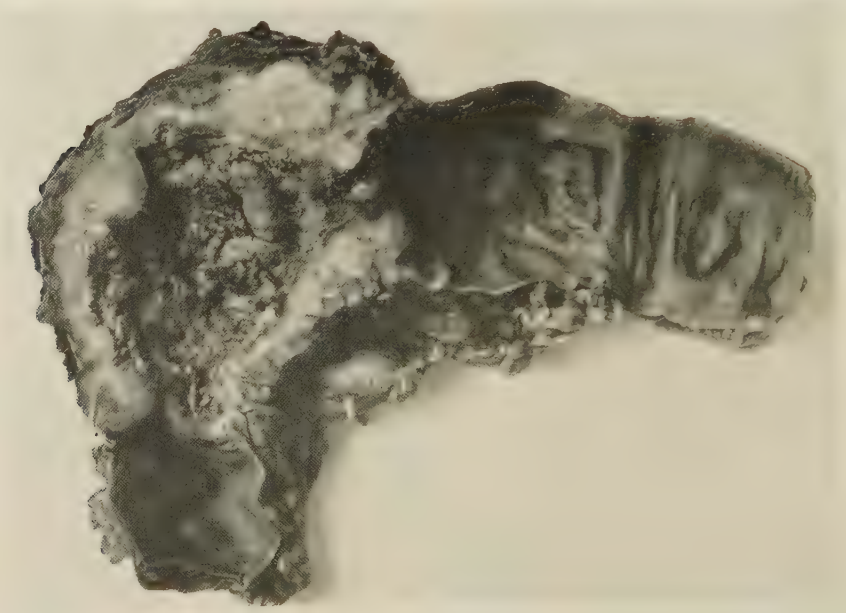


Abb. 100. Karzinom des Colon transversum. Resektionspräparat. Fall Wa. Nr. 28.

rade an dieser Stelle, wo der fingerförmige Fortsatz sich befand, der sog. Sphincter coli transversi gelegen ist, jener Abschnitt, der sich spastisch zusammenzieht und den Beginn des Rücktransports antiperistaltisch in das Coekum darstellt. Ohne palpatorischen Befund wäre das Bild außerordentlich ähnlich dem der Stierlinschen Ascendens Obstipation gewesen.

Die Einlaufuntersuchung ergab dann einwandfrei den Beweis, daß der Tumor der Darmwand angehörte. Durch Vergleichen der Pausen der Breipassage und des Einlaufs ließ sich nun ein richtiger Füllungsdefekt konstruieren. Auch bei diesen Vergleichen sei man vorsichtig. Kein Organ hat wohl so verschiedene Lagen bei verschiedenen Untersuchungssitzungen wie der Querdarm und die Sigmaschlinge, das muß auch in Betracht gezogen werden.

Die Operation ergab einen faustgroßen Tumor dicht links der Mitte des Colon transversum (Abb. 100).

Des öfteren haben wir uns auch mit der Frage zu befassen, ob ein Patient mit Obstipationsbeschwerden, die früher oder später nach einer Magenoperation eingesetzt

haben, ein Querkolonkarzinom, nur eine einfache Verlötung durch Verwachsungen, eine Einbeziehung des Dickdarmes in ein Ulcus pepticum jejuni post gastroenterostomiam oder schließlich ein auf das Querkolon übergreifendes Magenkarzinomrezidiv hat. Auf die Fülle der Möglichkeiten sei nur hingewiesen, für eine eingehende Besprechung ist hier nicht der Ort.

Einfache Verwachsungen werden wir nicht immer sicher von einem Tumor trennen können. Die Luftblähung, bei der man einen plastischen Überblick über das Darminnere bekommt, wird hier vielfach helfen.

Ist es durch Verlötung eines Ulcus pepticum jejuni zu einer Wandinfiltration gekommen, so können reguläre Füllungsdefekte entstehen, die völlig einem Karzinombefunde gleichen. Meist weist dann die Anamnese auf den Magen hin und die Diagnose wird bei der Magenuntersuchung gestellt. Nach Durchbruch eines solchen Geschwürs kommunizieren Magen und Querdarm, es wird also die Einlaufflüssigkeit den Magen füllen können und umgekehrt wird der Brei direkt vom Magen in das Transversum gelangen.

Ein hierher gehörendes Bild (Abb. 101) entnehme ich dem Werke Braun-Wortmann (S. 476).

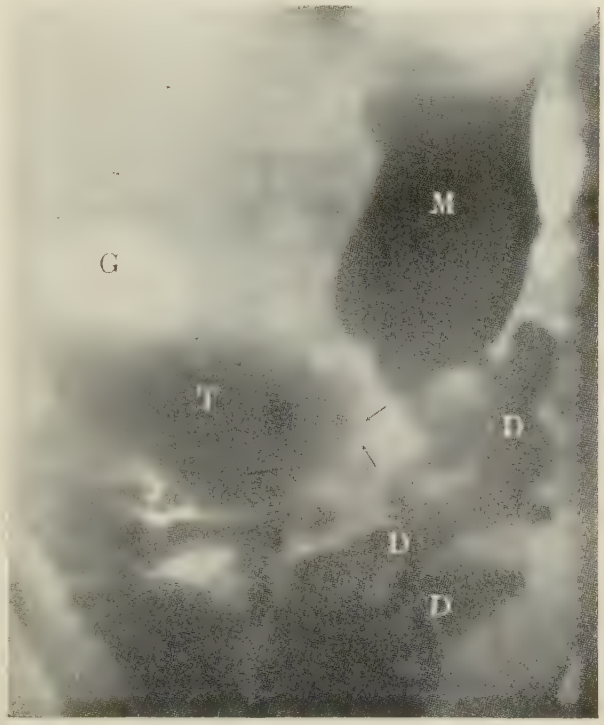


Abb. 101. Stenose des Querkolon (Pfeile). Breipassage. D = Dünndarm (Nach Braun-Wortmann.)

Fall 29. 41 jähr. Mann.

Vor 4 Monaten Resectio ventriculi Billroth II wegen eines stenosierenden Ulcus pylori. Dabei unbeabsichtigte Verletzung des Mesokolon (Mitfassen bei der Unterbindung). Seit 1 Monat Koliken, Aufbäumen einer Darmschlinge in der rechten Bauchseite.

Abb. 101 zeigt 3 Stunden nach der Kontrastmahlzeit. Der Magen enthält noch große Bariumreste. Dünndarm reich gefüllt, Dickdarm bis zur Colon transversum, Mitte stark erweitert und gefüllt, in der erweiterten Leberbiegung ist eine abnorm große Gasblase sichtbar, mit einem breiten unregelmäßigen Kontrastspiegel.

Diagnose: Narbige Striktur des Querkolon.

Operation: Am Colon transversum entsprechend der ihres Mesenterium beraubten Strecke eine ringförmige Striktur. Netz und Jejunum an dieser Stelle verlötet. Zuführender Darm erweitert. —

Ganz erhebliche Schwierigkeiten bieten hier am Transversum Spasmen, die bei allgemein nervöser Konstitution etwas recht Häufiges sind. Sie sind neben den Füllungszufälligkeiten der Grund für die früher allgemeine Diskreditierung des Röntgenverfahrens in der Dickdarmpathologie, denn auf der Platte kann man so die schönsten

Füllungsdefekte, fingerförmige Fortsätze und stenotisch bröcklig gefüllte Straßen erhalten. — Abb. 102 zeigt eine solche Platte eines Patienten, bei dem nach einer länger zurückliegenden Magenoperation Verdacht auf eine Dickdarmstenose entstanden war (Fall 30. L. Abt. 32. 1924). Diese Platte zeigt eine äußerst verdächtige Strecke im linken Transversum, die bei mehreren Durchleuchtungen konstant erschien. Beim Einlauf war aber diese so sehr verdächtige Strecke völlig entfaltet.

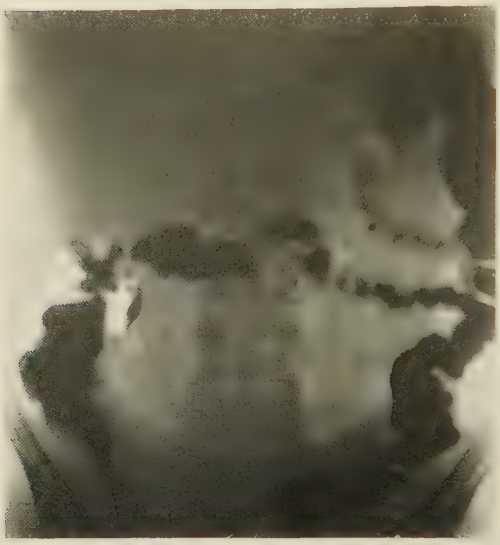


Abb. 102. Verdächtiger Spasmus im linken Transversum. Fall L. Nr. 30. Breipassage. Bei anderen Durchleuchtungen zeigte sich dieser Darmteil wohl entfaltet.

Erinnern wir uns dabei, daß Spasmen derart langen Bestand haben können, daß sogar ein schwerster Ileus die Folge sein kann (Fromme u. a.). Sicher stören sie die Untersuchung besonders bei der Breipassage, weniger beim Einlauf und bei der Luftblähung. Unter Umständen muß man zu Atropin und Papaverin als Hilfsmittel greifen, um Spasmen von echten Tumorfüllungsdefekten zu trennen.

Auch ein Fall Stierlins sei zu dieser Frage als Illustration beigegeben (Abb. 103).

Fall 31. S. 519 (Lehrbuch). 45 jähr. Mann.

Schmerzen im Epigastrium und in der rechten Bauchseite im Bereich des Querdarmes. Zunehmende Verstopfung. Resistenz im Epigastrium.

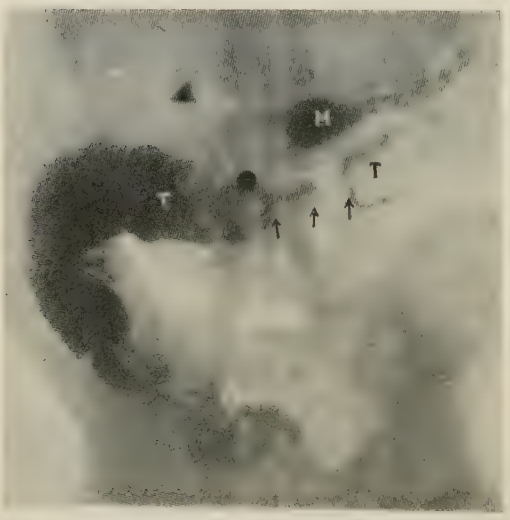


Abb. 103. Magenkarzinom auf Querkolon übergreifend. Pfeile bezeichnen die Stenose. (Aus Stierlin.)

Breipassage: Kleiner präpylorischer Füllungsdefekt und in der Mitte des Querkolon nach 9 Stunden ein grober Schattendefekt (Abb. 103), der von einem dünnen Bariumstreifen durchzogen ist. Nach 12 und 24 Stunden blieb dieser Befund im wesentlichen der gleiche, trotzdem die tieferen Kolonabschnitte bereits Barium enthielten. — Kein Einlauf.

Diagnose: Magenkarzinom, Übergreifen auf das Kolon und Stenosieren desselben.

Die Operation deckte das vermutete Magenkarzinom auf, dagegen erwies sich die Diagnose bezüglich des Kolon als falsch. Zwar ist das Mesokolon teilweise infiltriert und das Querkolon in seinem rechten Drittel pyloruswärts verzogen, doch ist der Darm selbst nicht vom Tumor ergriffen.

Hier hatte also sowohl das klinische Bild als auch die Breipassage für ein Quer-

darmkarzinom gesprochen und doch war der Darm frei. Stierlin erklärt den Füllungsdefekt durch den Zug am Mesokolon. Ich kann auf Grund vielfacher Beobachtungen dieser Deutung nicht zustimmen. Rein mechanisch durch Zug wird ein Füllungsdefekt nicht entstehen. Um eine solche Wirkung rein mechanisch zu erzielen, dazu ist der Zug so gut wie nie ausreichend und ist er stark genug, dann ist kompletter Ileus die Folge.

Ich glaube, man kann solche Beobachtungen wie in dem eben geschilderten Falle Stierlins nur durch einen Spasmus erklären und darf wohl die Ursache des Spasmus in dem Reize sehen, der durch die Verwachsungen, die meist entzündlicher Natur sind, bedingt ist. Mehrfach konnte ich bei der Breipassage ganz konstante Spasmen an eng begrenzter Stelle erkennen, die bei der Operation Verwachsungen einer Appendix epiploica mit dem Mesokolon entsprachen.

Das Einlaufbild, unter Umständen in Kombination mit Luftblähung, kann in den meisten dieser Fälle eine Klärung herbeiführen. Es werden aber immer Fälle übrigbleiben, bei denen man sich zur diagnostischen Laparotomie entschließen muß, wenn der Verdacht eines Tumors sich nicht entkräften läßt, d. h. wenn auch trotz Atropin und mehrfacher Untersuchung der vermutlich spastische Füllungsdefekt konstant bleibt.

Sieht man auch in andern Teilen des Dickdarmes Spasmen rasch wechselnder Natur, so spricht das nach meiner Erfahrung gegen Tumor malignus.

An die Pseudofüllungsdefekte durch den Druck der Wirbelsäule besonders bei Bauch- und Rückenlage sei hier nochmals erinnert.

Die entzündlichen Tumoren spielen am Querkolon eine geringere Rolle, immerhin gibt es auch hier zuweilen Divertikel, die den Ausgang eines Pseudotumors bilden könnten.

D. Die Tumoren der Flexura lienalis.

Die Milzbiegung des Dickdarmes stellt den höchstgelegenen Darmteil beim stehenden Menschen dar. Sie enthält konstant eine Gasblase.

Auf den Verlauf des Darmes an der Flexura lienalis sei an Hand eines schematischen Seitenansichtbildes hingewiesen (Abb. 104). Bei der gewöhnlichen dorso-ventralen Strahlenrichtung wird man oft mit Überlagerungen zu kämpfen haben, die bei Bariumfüllung zu völliger Verdeckung eines an einer Schlinge vorhandenen pathologischen Befundes führen können. Palpation kann hier nicht helfen, weil die Schlingen hoch unter dem Rippenbogen, also unzugänglich für unsere Hand liegen. Man muß dann entweder einen Augenblick abpassen, an dem nur eine Schlinge gefüllt ist, oder man bedient sich der Luftaufblähung, deren Bild durch eine Überlagerung von zwei Schlingen nicht gestört wird. Im Gegenteil wird dadurch das Bild besonders bei korpulenten Leuten klarer.

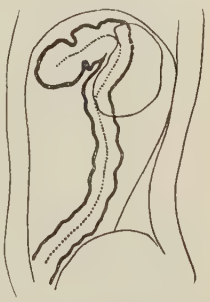


Abb. 104. Verlauf des Dickdarmes an der Flexura lienalis (schematisch nach einem Formolpräparat von Corning).

An dieser spitzwinkligen physiologischen Knickung sehen wir auch beim Normalen häufig eine gewisse Stagnation; kommt es nun durch peritonitische oder einfach perikolitische Prozesse zur fixierten Abknickung, also zu einem Zustande, bei dem die Darmmuskulatur sich nicht ungehindert betätigen kann, so ist eine klinische Stenose an dieser prädisponierten Stelle die Folge (Payrsche Doppelflintenstenose). Daß ein derartiger Prozeß vorliegen kann, ist vielfach operativ erwiesen, falsch ist jedoch, jeden Fall einer Aneinanderlagerung von linkem Transversumschenkel

und Colon descendens als Payrsche Krankheit zu deuten. Es muß der Nachweis der Fixation durch Palpation und Durchleuchtung in verschiedenen Richtungen zugleich mit der Störung der Passage erbracht sein.

Die kurze Berührung dieses differentialdiagnostisch wichtigen Krankheitsbildes möge genügen.

Eine starke Abwärts- und Medianverdrängung der Flexura lienalis sehen wir bei Milztumoren. Abnormer Tiefstand ist ein häufiges Bild bei der Koloptose.

Die Karzinome dieser Gegend sind vielfach kleine schrumpfende Tumoren, die zu Siegelringbildungen führen.

Ohne näheren Text bringe ich eine Abbildung aus dem Lehrbuche von Aßmann (Abb. 105), die eine typische retrograde Stenose mit unregelmäßiger spitzzackiger Endigung zeigt. Die Diagnose lautete auf Karzinom und wurde operativ bestätigt.

Abb. 105. Karzinom der Flex. lienalis. Einlaufstockung. (Nach Aßmann.)

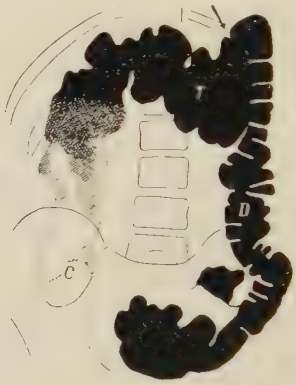


Abb. 106. Tuberkulöse Stenose der Flex. lienalis (Pfeile). Füllung durch Coekalfistel und per anum. (Nach Stierlin.)

Seltener sind hier tuberkulöse Tumoren; ein solcher Fall sei ebenfalls kurz skizziert. Die Abb. 106 ist dem Stierlinschen Lehrbuche (S. 488) entnommen.

Fall 32. 20 jähr. Mann. Ileus.

Kotfistel sofort am stark dilatierten Colon transversum angelegt. Abtasten der Bauchhöhle intra operationem nicht möglich.

1. Einlaufenlassen von Kontrastflüssigkeit durch die Fistel: Darstellung eines dilatierten Querdarmes mit scharfem Abschneiden der Füllung an der Flexura lienalis, dann

2. Füllung per klysma. Es zeigt sich ein normales Sigma und Descendens, die Flüssigkeit erreicht an der Flexura lienalis das Querkolon.

Aus dem Bilde ist nun zu sehen, daß das Querkolon erweitert, das Descendens dagegen normal ist, also muß das Hindernis an der Flexura lienalis liegen. Gerade an der kritischen Stelle aber, wo man eine Darstellung der Stenose, einen Füllungsdefekt erwarten müßte, ist durch Überlagerung kein besonderer Befund zu erheben. Für diese Fälle würde Einblasen von Luft durch Fistel und Anus und Durchleuchtung im Stehen bessere Bilder ergeben.

Zweite Operation: Walnußgroßer, hochgradig stenosierender tuberkulöser Tumor der Flex. lienalis.

Einen desgleichen hierher gehörigen interessanten Fall von Pseudotumor haben Braun-Wortmann (S. 480, Abb. 273) publiziert:

Fall 33. 47 jähr. Mann.

Vor 4 Jahren Pleuraampyem links. Seit 14 Monaten zeitweise Koliken, Stuhl- und Windverhaltung. Diagnose: perforiertes Magengeschwür.

Bei Aufnahme Befund eines tiefen Ileus. Anlegen einer Coekalfistel.

Kontrasteinlauf füllt ohne Schwierigkeiten das Sigma und Descendens, stockt aber an der Flexura lienalis. Die Endigung ist spitzzackig unregelmäßig. Ihrer Form nach müßte man ebenso wie in der Abb. 105 einen Krebs für das Wahrscheinlichste halten. Auf Grund der Anamnese wird aber ein entzündlicher Tumor im Zusammenhange mit dem früher überstandenen Empyem angenommen (Abb. 107).

Bei der Operation fanden sich die Schenkel der Flexura lienalis unlöslich in schwartige derbe Massen eingebettet, die hauptsächlich von der Milz und dem Pankreas gebildet wurden und eine hochgradige spitzwinklige Anziehung der Flexur zur Folge hatten.

Abb. 107. Entzündliche Stenose an der Flex. lienalis. Einlauffüllung. (Nach Braun-Wortmann.)

E. Die Tumoren des Colon descendens.

Das Descendens ist wieder wie das Ascendens und Coekum ein Darmteil, der sich leicht übersehen läßt. Zwar bildet auch das Descendens manchmal Schlingen, die die Übersicht erschweren, aber meist hat es doch einen gestreckten Verlauf, der es besonders für die Untersuchung mittels des Kontrasteinlaufes und für die in rechter Seitenlage vorzunehmende Untersuchung mittels Kombination von Einlauf und Luftblähung geeignet erscheinen läßt. Die Breipassage kommt hier immer weniger in Betracht, je weiter wir abwärts gehen, die Kontrastknollen sind hier schon sehr fest, so daß eine wirkliche Ausfüllung des Lumens nicht mehr bewirkt wird. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß die Breipassage hier ganz überflüssig sei, sie ist nur für die Beurteilung der Kontur und für Darstellung von Füllungsdefekten weniger geeignet als der Einlauf, hat hingegen für die Klärung von Stenosen unverminderte Bedeutung.

Zuerst sei ein Fall von Carman Miller gebracht.

Fall 34. 53 jähr. Frau (Abb. 108).

Seit einigen Monaten Schmerzen unter dem linken Rippenbogen. Keine Obstipation, viel Blähungen. Gewichtsverlust.

Einlauf füllt rasch das ganze Colon ohne Schmerzensäußerung seitens der Patientin. Es zeigt sich ein klassischer Serviettenringdefekt (napkinring) im Colon descendens dicht unterhalb der Flexura lienalis.

Diagnose: Kleines Karzinom des Colon descendens.

Operation bestätigte diese Diagnose.

Auch ein eigener Fall erscheint mir der Mitteilung wert.

Fall 35. Fr., Musiker, 72 J. 1923. Abt. 32.

Seit 3 Monaten zunehmende Schmerzen in der linken Seite. Appetit schlecht, Gewichtsabnahme, kein Durchfall, keine Obstipation. Erst seit einigen Tagen ziemlich plötzlich Verstopfung.

Abb. 108. Serviettenringkarzinom im Colon descendens (nach Carman-Miller).

Links vom Nabel Resistenz tastbar. Rektoskopisch bis 25 cm Höhe o. B.

Auf Breipassage muß wegen des Subileuszustandes verzichtet werden.

Einlauf füllt Ampulle und eine sehr große, bis über den Nabel hochreichende Sigmaschlinge gut, die Flüssigkeit stockt am Beginne des Colon descendens, langsam durchläuft sie einen etwa 8 cm langen stenotischen Kanal, um dann ein normales, nicht dilatiertes oberes Descendens zu entfalten.

Luft wird nunmehr eingeblasen, das Bild bleibt das gleiche, es kommt nicht zur Dehnung der mittleren und unteren Descendenspartie.

Der stenotische Kanal zeigt Flecken, die offenbar dem Haftenbleiben von Kontrastteilchen in Geschwüren entsprechen. Abb. 109 zeigt die Aufnahme im Stehen, Abb. 110 in rechter Seitenlage.

Hieraus ergibt sich ein infiltrierender Wandprozeß, offenbar bestehen auch Geschwüre der Schleimhaut im Gebiete der Stenose.

Diagnose: Karzinom des Colon descendens.

Operation ergab ein faustgroßes Karzinom an dem röntgenologisch festgestellten Orte.

Ein typisches Bild ist das absolute Stocken des Kontrasteinlaufes und gleichzeitiges Auftreten von Stuhldrang. Wir sahen schon ein ähnliches Bild in Abb. 105. Ein interessanter Fall, der differentialdiagnostisch von Bedeutung ist, wird von Goldammer geschildert.

Fall 36. Goldammer S. 152, Abb. 111.

Der Einlauf bei einer Patientin mit schwerem Ileus füllt in normaler Weite die Flexura sigmoidea und das Colon descendens bis etwa zur Nabelhöhe, um dann mit breiter zackiger Grenzkontur stehenzubleiben. Außerdem erkennt man eine ungeheure Gasansammlung im übrigen Bauch, die offenbar im Coekum, Ascendens und einer anderen riesig geweiteten Darmschlinge sich befindet.

Aus dem Bilde ist über den Charakter des Prozesses wenig zu sagen, sicher ist nur, daß hier eine absolute Stenose des Descendens vorliegt, oberhalb deren der Darm riesig gebläht ist.

Die riesige Darmschlinge entspricht offenbar dem dilatierten Sigma, sie bietet ähnliche Bilder dar, wie wir sie bei Hirschsprungscher Krankheit gelegentlich zu Gesicht bekommen.

Abb. 109. Karzinom des Colon descendens. Fall Fr. Nr. 35. Bild mit gleicher Technik wie Abb. 110, aufgenommen nur im Stehen! Descendens schraffiert = breigefüllt. Sigma luftgefüllt.

Abb. 110. Carcinoma col. descendentis. Fall Fr. Nr. 35. Kombinierte Bariumluftfüllung. ++++ Zackiger Tumorkanal → Verlaufsrichtung des Einlaufes. Plattenpause. Rechte Seitenlage.

Operation ergab Volvulus der linken Dickdarmhälfte. Faustgroßer Adhäsionstumor, bestehend aus Netz und Darm links vom Nabel.

Abb. 111. Einlauf stockt in Descendensmitte, ovaler Dickdarm luftgefüllt. Fall Nr. 36. (Nach Goldammer.)

Abb. 112. Spasmen im Ascendens und Descendens bei leichter Kolitis. Kontrasteinlauffüllung.

Relativ häufig hatte ich unter meinen eigenen Fällen mit Spasmen im Colon descendens zu kämpfen, die eine diagnostische Klärung erschwerten. Mehrfach konnte ich

sehen, daß bei der Einlauffüllung der Darm sich zuerst gut entfaltete, bei Durchleuchtung im Stehen sich nachher aber ein erheblicher Rest im oralen Descendensteil befand, der durch einen Spasmus in der Descendensmitte am Herabsinken verhindert wurde. Ein derartiges Bild ohne Kenntnis der Durchleuchtungsbefunde müßte für höchst verdächtig auf eine Stenose gelten, die einen Abfluß, der Schwere folgend, abwärts verhindert. Abb. 112 zeigt eine solche Situation bei einem neurasthenischen Individuum (Fall 37). — An der Stelle, wo das Descendens den Beckenkamm kreuzt, beobachtet man häufig einen Spasmus, der verdächtig sein kann, ein solcher Krampf ist auch auf dem Bilde sichtbar (Ileocoekaltuberkulose Fall 10), auch in den Figuren der Lehrbücher sieht man vielfach solche Kontureinziehungen, nur selten wird darauf aufmerksam gemacht.

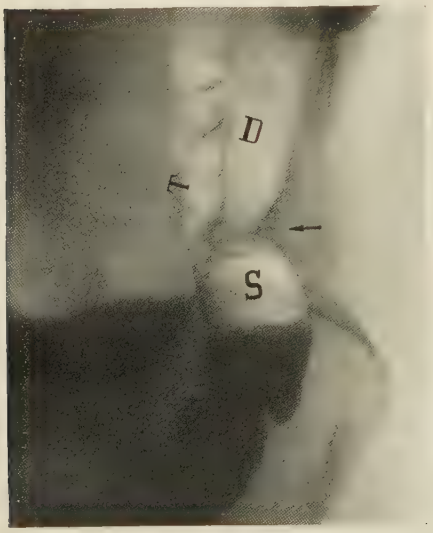


Abb. 113. Karzinomverdächtige Stelle am Fußpunkt des Descendens. Fall H. Nr. 38. Einlauf und Luftfüllung zeigen normale Verhältnisse. Aufnahme im Stehen.

Einen interessanten Fall von Invaginationstumor am Colon descendens hat Karewski publiziert. Ein Karzinom saß an der Spitze des Invaginatum. Er macht auf die diagnostische Bedeutung des Tiefstands der Flexura lienalis in diesen Fällen aufmerksam.

Vor Schwierigkeiten stehen wir manchmal bei der Beurteilung der Übergangsstelle des Colon descendens in die Sigmaschlinge. Hier sehen wir häufig Schlingenbildung und Spasmen, der Einlauf stockt an dieser Stelle zuweilen unter Aufbäumen der Sigmaschlinge, bei der Breipassage scheint hier oft ein regulärer Füllungsdefekt zu bestehen. Es empfiehlt sich, diese Stelle bei der Betrachtung sorgfältigst einzublenden, um alle Einzelheiten erkennen zu können; nicht immer gelingt es, diesen Ort klar auf die Platte zu bannen. Im übrigen ist gerade diese Übergangsstelle physiologisch die engste Partie des ganzen Dickdarmes. Da hier ein an der hinteren Bauchwand fixierter Darm, das Descendens in die mit einem freien Mesenterium versehene bewegliche Sigmaschlinge übergeht, so sind alle Vorbedingungen für eine Abknickung gegeben. Ohne weiteres ist verständlich, daß eine sich aufbäumende, mit Flüssigkeit gefüllte Sigmaschlinge umsinken und dabei diese Übergangsstelle durch Knick mit Spornbildung unwegsam machen kann.

Für die Darstellung dieser Stelle kommt es bei der Breipassage auf den richtigen Beobachtungszeitpunkt an, den man aber nicht vorher berechnen kann, der lediglich Glückssache ist. Die Einlauffüllung läßt uns ebenfalls oft im unklaren darüber, ob hier ein einfacher Knick oder ein kleiner stenosierender Tumor vorliegt. Gut brauchbar ist hier die Luftblähung und in Abb. 113 gebe ich ein solches Bild wieder.

Fall 38. D., Weißbinder, 51 J. 1922. amb.

Seit ½ Jahre Auftreibung des Leibes ohne Obstipation und ohne Schmerzen. Arzt hat Verdacht auf Karzinom.

Objektiv nichts tastbar. Kein Anhaltspunkt für eine bestimmte Lokalisation.

Kontrasteinlauf und Breipassage stellen den Übergang des Sigma in das Descendens schlecht dar, so daß an dieser Stelle bei im übrigen unverdächtigen Dickdarm die Möglichkeit einer Wucherung besteht.

Der Kontrasteinlauf wird abgelassen und nun Luft im Stehen eingeblasen (Abb. 113). Im Transversum und im Descendens sind noch Reste der Bariumbolusflüssigkeit vorhanden, im übrigen ist der Darm durch die Luft sehr gut gebläht. Eine eigentliche Sigmaschlinge ist nicht vorhanden, sie wäre sonst dem Auftrieb folgend hochgestiegen aus dem kleinen Becken. Man erkennt deutlich die physiologische Enge an der zur Diskussion stehenden Stelle, sieht weiter, daß die Darmwand hier ganz gleichmäßig ist und daß keine Ringschatten oder Trübungen vorhanden sind, die auf ein Ulkus an dieser Stelle hindeuten, auch läßt sich bei der Durchsichtigkeit des Darmes ein hier in das Lumen vorragender Tumor ausschließen.

Klinisch wurde die Diagnose auf Gärungskatarrh gestellt.

Der Patient wurde nicht operiert, er befand sich 2 Jahre nach der Untersuchung völlig gesund.

Der nächst zu schildernde eigene Fall gehört ebenfalls zu den Verdachtsfällen, bei denen eine Klärung der Diagnose durch die Kombination des Einlaufs mit der Luftaufblasung geglückt war.

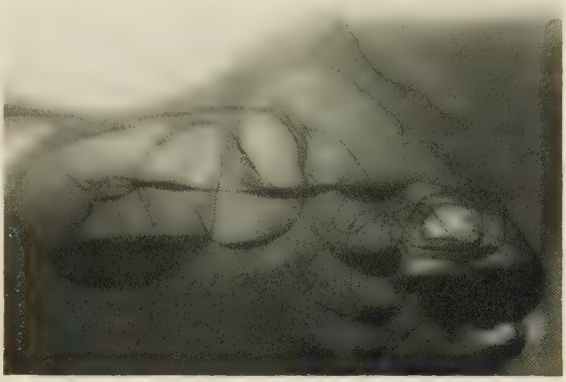


Abb. 114. Spornknickung am Descendensfußpunkt durch Netzfesselung in der linken Beckenschaufel. Fall A. Nr. 39. Kontrasteinlauf und Luftfüllung. Rechte Seitenlage.

Fall 39. Frau A., 65 J. 1922. Abt. 24.

Seit ½ Jahr hat sich ohne bekannte Ursache eine hartnäckige Obstipation entwickelt. Kachexie, Schmerzen in der linken Seite.

Tumor in der linken Flanke ist nicht zu tasten.

Von anderer Seite vorgenommene Breipassage und Einlaufuntersuchung hatte die Wahrscheinlichkeitsdiagnose eines Karzinom am Fußpunkt des Descendens ergeben. Man hatte diese Diagnose auf Grund einer umschrieben sich schlecht füllenden Stelle im Colon descendens unter Berücksichtigung des sonstigen klinischen Befundes und der Anamnese gestellt.

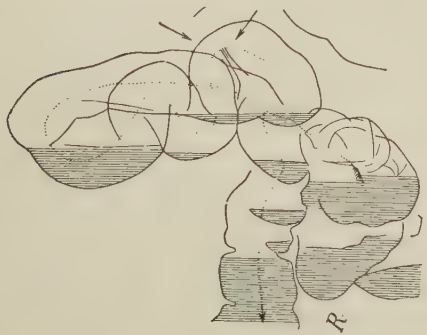


Abb. 115. Zu Abb. 114. (Pfeile zeigen die Spornknickung.)

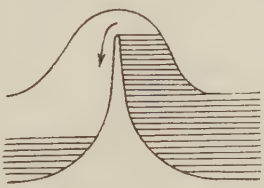


Abb. 116. Schema der Spornknickung zu Abb. 114.

Einlauf und Luftaufblasung ergaben in rechter Seitenlage (Abb. 114 u. 115) normale Verhältnisse, das Colon transversum lag dem Colon descendens auffallend weit parallel, ließ sich durch Palpation nicht von ihm trennen. Der Fußpunkt des Descendens war deutlich geknickt und ein Sporn (Abb. 116) hatte sich gebildet, der wohl den Verdacht eines Tumors erweckt hatte. Abb. 117 zeigt uns die Situation bei der stehen-

den Patientin. Auch jetzt liegt das Colon transversum in seinem linken Abschnitt bis zur Mitte des Colon descendens parallel und folgt nicht dem Auftrieb, es muß also mit seiner Mitte hier am Fußpunkt des Colon descendens fixiert sein. Aufmerksam möchte ich auf die gute Übersichtlichkeit und Durchsichtigkeit der sich überlagernden Darmschlingen machen, die man nur bei der Luftfüllung erreichen kann.

Abb. 117. Spornknickung am Descendensfußpunkt. Fall A. Nr. 39. Kontrasteinlauf und Luftfüllung. Aufnahme im Stehen.

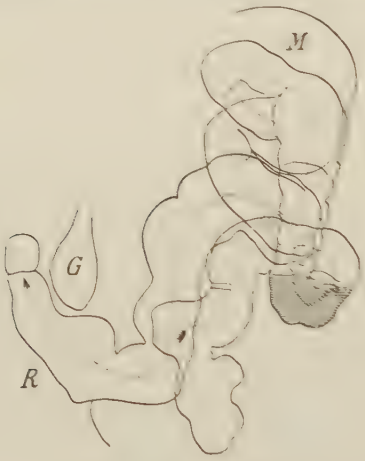


Abb. 118. Zu Abb. 117.

Diagnose: Verwachsungen von Transversum und Descendensfußpunkt, kein Karzinom.

Operation ergab eine Fesselung des großen Netzes in der linken Beckenschaufel, dadurch war das Querkolon in dieser Gegend fixiert. Kein Karzinom.

F. Die Tumoren der Sigmaschlinge.

Die Sigmaschlinge ist gegenüber dem leichtübersichtlichen Colon ascendens und descendens ein überaus schwieriges diagnostisches Gebiet. In die untersten Teile, günstigstenfalls bis zur Kuppe der Sigmaschlinge bis zum Schieferdekkerschen Punkt kann man mit dem Rektoskop eindringen und so direkt das Darminnere übersehen. Sehr oft gelangt man aber nicht über eine Höhe von 15 cm vom Anus, die Umbiegung am Anfang der Sigmaschlinge ist oft so scharf, daß das Instrument sich nicht weiter vorschieben läßt. Die Sigmaschlinge und das Transversum sind diejenigen Darmteile, deren Lage und Länge die allergrößten Variationen aufweist, bald ist sie ganz kurz und hat kein freies Mesosigma, so daß eine Schlingenbildung überhaupt nicht vorhanden ist, sie liegt dann der Beckenschaufel in fast gerader Linie vom Descendens zum Rektum an, bald aber bildet sie doppel-S-förmige Schlingen, die entweder als ein Konvolut im kleinen Becken liegen oder sich aufbäumend bis in die Gegend der Leberpforte reichen können, wo sie sich mit der Flexura hepatica und dem Transversum überlagern. Am leichtesten sind die Fälle mit kurzer Schlinge zu beurteilen. Bei der Besprechung der einzelnen Methoden ist schon darauf hingewiesen, daß bei Überlagerungen eine Entwirrung durch Palpation helfend eingreifen muß, oft kommt man auch auf diese Weise nicht zum Ziel, wenn die Schlingen zusammengerollt im kleinen Becken unzugänglich dem trennenden Finger liegen. Gerade für die Klärung der Verhältnisse an der Sigmaschlinge ist die Luftblähung nach Applikation des Kontrasteinlaufes nach A. W. Fischer oft ein gut brauchbares Hilfsmittel, sie bewirkt meist eine Entfaltung des Sigma, das dem

Auftrieb des Luftinhaltes folgend hoch in den Bauchraum aufsteigt und so übersichtlich wird.

Während man aber für die Untersuchung der oberen Darmteile meist ohne eine Entleerung des Einlaufs auskommt, muß man hier den größten Teil des Klysma wieder ablaufen lassen, ehe man den Darm aufbläht, weil sonst der Kontrastinhalt durch Überlagerung störend wirkt. Im Stehen wird man die Kuppe und ihre benachbarten Teile sehen, im übrigen muß man in rechter, in linker Seitenlage und auch in Beckenhochlagerung den Darm betrachten.

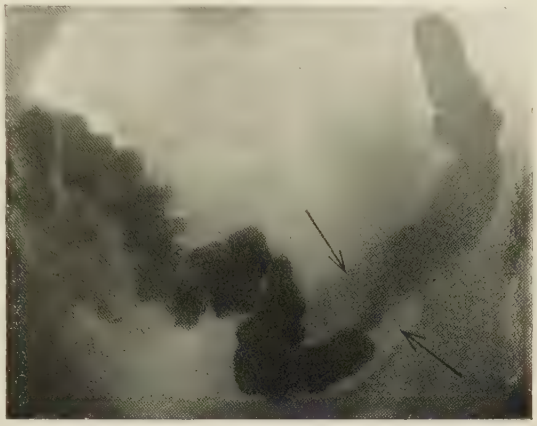


Abb. 119. Carcinoma sigmae. Fall K. Nr. 40. Kontrastbreipassage. Transversum tief haustriert, hängt in das kleine Becken hin ab, endigt mit fingerförmigem Fortsatz. Colon descendens, Füllung normal, am Sigma an Intensität nachlassend, hier Mischung mit Kot vor der Stenose. Pfeile bezeichnen die zur Diskussion stehende Kolonpartie. (Aufnahme Med. Univ.-Polikl. Dr. Amelung.)

Bei der Aufnahme von Breipassage- und Kontrastklysmabildern erhält man bei korpulenten Menschen die klarsten Bilder in Rückenlage. Die Bilder im Stehen werden meist nicht so gut, weil die schlaffe Bauchwand solcher Leute abwärts sinkt, sich auch durch Kompression nicht genügend wegdrücken läßt und so die Streustrahlung vermehrt. — In Rückenlage sinkt die überschüssige Bauchwand nach beiden Seiten und stört uns nicht.

Sind die pathologischen Veränderungen bereits fortgeschritten, wird uns neben dem Kontrasteinlauf, der dann das Bild der retrograden Stenose ergibt, auch die Breipassage viel nützen. Häufig sehen wir im Sigma ganz kleine zirrhöse Tumoren, die den Darm stark verengen. Oberhalb solcher Stenosen liegt dann häufig eine große Menge eingedickten Kotes, der sich erst ganz allmählich mit dem Bariumsalz durchmischt und erst nach Tagen eine scharfe Darstellung der Stenose erlaubt. Ein derartiger Fall sei kurz besprochen.

Fall 40. Ke., Ehefrau, 56 J. 1921. Abt. 24.

Seit Jahren Verstopfung, in letzter Zeit vielfach krampfartige Schmerzen im Leibe. Gewichtsabnahme, Blut und Schleim im Stuhl.

Im linken Unterbauch stark druckempfindlicher, walzenförmiger Tumor, Rektoskopisch o. B.

Abb. 120. Carcinoma sigmae Fall K. Nr. 40. Kontrastbreipassage. Linkes Transversum gefüllt, Descendensfüllung am Beginn des Sigma marmoriert. + = Endigung der Kontrastfüllung vor dem Tumor. (Aufn. Med. Univ.-Polikl. Frankfurt, Dr. Amelung.)

Breipassage. Füllung bis zum mittleren Descendens normal, dann kein weiteres Vordringen innerhalb einer Woche. Entleerung erst nach vielfachen Öleinläufen. Abb. 119 zeigt Füllungsreste im Coecum-Ascendens, tiefhängendes Transversum, das

mit einem fingerförmigen Fortsatz endigt, der aber keiner Stenose entspricht. Dieser Fortsatz wäre für eine Tumorstenose allein äußerst verdächtig, stellt aber nur ein zufälliges Füllungsstadium dar. Das linke Transversum ist frei, das Descendens ist im oberen Teile normal, im unteren Teile ist es überweit, und nicht haustriert. Der Kontrastschatten wird hier zunehmend weniger intensiv, um schließlich in einer wolkig fleckigen Trübungszone zu enden. Die ganze haustrenlose Partie entspricht dem fühlbaren Tumor in der linken Beckenschaufel.

Abb. 121. Carc. sigmae + Polyposis sigmae. Fall Gr. Nr. 42. Einlaufbild. Zackiges Ende. Helle Flecke in den beiden Sigmaschenkeln entsprechen den Polypen.

Abb. 120 zeigt ein weiteres Stadium. Hier ist nun das linke Transversum stark gefüllt, das Descendens zeigt wieder die wolkenförmige Schattenzeichnung. Linkes Transversum und Descendens nahe der Milzbiegung überlagern sich.

Wir stellen also als Ergebnis der Breipassage fest:

1. Stocken der Passage im Sigma,
2. Anhäufung großer Kotmassen: wolkige Trübungen im unteren Descendens, die dem fühlbaren Tumor entsprechen.

3. Die Stenose selbst ist nicht sichtbar, nur im oralen Schenkel der Sigmaschlinge zu vermuten.

Einlaufuntersuchung: Gute Entfaltung der Sigmaschlinge und des analen Sigmaschenkels, dann plötzlich heftiger Schmerz und Defäkation infolge Schlußunfähigkeit des Afters.

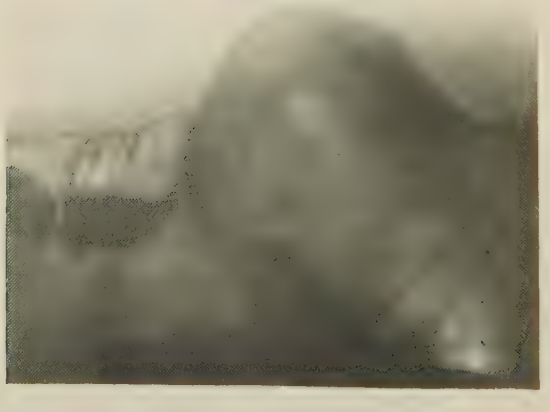


Abb. 122. Carc. sigmae. Fall Nr. 42. Einlauf + Luftblähung. Tumor als Positiv sichtbar.

Abb. 123. Zu Abb. 122. + = Eingang in den Tumor (senkrecht schraffiert).

Operation: Es findet sich ein nach der Betastung als inoperables Karzinom anzusprechender Tumor des Sigma und zwar seiner oralen Schlinge. Die Diagnose eines Karzinom durch Lebermetastasen erhärtet.

Fall 41. Frau Gr., 69 J. 1925. Abt. 24. (Abb. 121—124.)

Seit einigen Monaten Blut und Schleim im Stuhl. Gewichtsabnahme. In der linken Beckenschaufel apfelgroßer Tumor palpabel, der leicht druckschmerzhaft ist. Rektal ein stenosierendes Karzinom am Übergang in das Colon pelvinum zu tasten.

Kontrasteinlauf: Der Einlauf entfaltet Ampulle, stockt, füllt sodann das Sigma und endet am Fußpunkt des Sigma in zackig halbmondförmiger Linie. Bei Erhöhung des Druckes Leibschmerz und Insuffizienz des Anus.

Aufnahme Fig. 121 zeigt das gleiche Bild, nur fallen zwei helle Flecken im Sigmakontrastfeld auf. Ein zweites Bild zeigt die gleichen Flecken, die als große Polypen gedeutet werden.

Lufteinblasung in rechter Seitenlage zeigt deutlich die dem tastbaren Tumor entsprechende Stenose am Descendensfußpunkt. Aufnahme Fig. 122, 123 läßt den

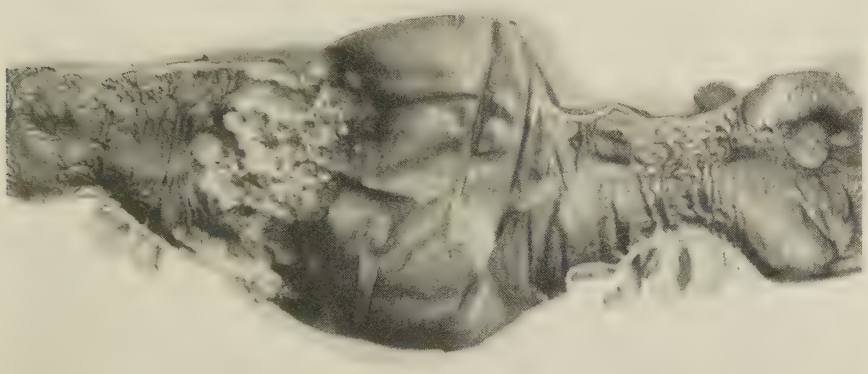


Abb. 124. Resektionspräparat zu Abb. 121—125. Rechts ein Polyp sichtbar.

Tumor deutlich im Luftfelde erkennen. Analwärts vom Tumor ist der Darm durch die Luft gedehnt, so daß er halbmondförmig die Geschwulst umgreift; aber auch oral der Stenose ist Luft zu sehen. — Auf die Polypen wurde bei dieser Aufnahme nicht gefahndet.

Operation ergab ein stenosierendes Rektumkarzinom in Douglashöhe, weiter ein apfelgroßes polypöses Karzinom am Descendensfußpunkt. Zwischen diesen beiden Tumoren war der Darm sehr dilatiert und enthielt zwei walnuß- bzw. kastaniengroße gestielte Polypen. Abb. 124 zeigt einen Teil des Resektionspräparats, und zwar den Sigmatumor und am unteren Rande den einen der beiden Polypen.

Bei hochgradiger Stenose mit beginnender Darmlähmung sehen wir, wie schon erwähnt, Verflüssigung des Stuhls in den oralen Darmteilen, große Gasblasen, meist erscheinen drei Spiegel (im Stehen) im Ascendens, in der Mitte des Transversum und am Descendens, oft auch in der Sigmaschlinge bei sehr tief sitzendem Hindernis. Bemerkenswert ist in den Fällen einer noch durchgängigen Stenose die Beobachtung eines sich unter dem Druck des Inhalts bei der Peristaltik unter gleichzeitigem Kolikschmerz bogenförmig kopfwärts krümmenden Querkolons.

Im Gegensatz zu Fall 40 steht der jetzt zu besprechende Befund. Während wir bei

dem vorigen Patienten nur aus der Stenose und der Kotanhäufung zugleich mit dem Stocken des Kontrasteinlaufes die Diagnose stellen konnten, werden wir jetzt einen Füllungsdefekt direkt erkennen können.

Abb. 125. Carc. sigmae. Fall L. Nr. 42. Partieller Füllungsdefekt im Sigma (Pfeile!). Kombination von Kontrastmahlzeit und Einlauf. Im Descendens kontrastlose Kotballen durchschimmernd.

Fall 42. Li., 54 J. 1922. Abt. 30.

Anamnese Blut und Schleimabgang, keine Obstipation.

Breipassagebild nach 8 Stunden. Magenrest. Flecke im Dünndarm, teilweise Füllung des Coekum und Transversum. In diesem Zustande wurde ein Einlauf zugefügt, der die Ampulle und das untere Sigma gut entfaltet, dabei einen scharf begrenzten, 5 cm langen Füllungsdefekt zeigt. Der Einlauf dringt weiter vor, dehnt gut das orale Sigma und füllt das Descendens, das alte Skybala enthält und dadurch eine fleckige Zeichnung bekommen hat (Abb. 125).

Operation ergibt an dem Orte des Füllungsdefektes ein großes papilläres Karzinom. Resektion.

Einen weiteren Fall mit völligem Schattenausfall sahen wir bei dem

Abb. 126. Carc. sigmae. Fall Eb. Nr. 43. Schattenausfall dem Tumor entsprechend. Einlaufbild.

Fall 43. Eb., 54 J. 1924. Abt. 30.

Seit 4 Monaten krank, zunehmende Verstopfung, Schmerzen, Schleim und Blutabgang. Kachexie.

Breipassage bei dem schlechten Allgemeinzustande und dem Subileus kontraindiziert.

Kontrasteinlauf füllt die Ampulle, entfaltet gut das Sigma in seinem analen Schenkel und stockt dann plötzlich, im gleichen Augenblick tritt starker Stuhldrang ein. Sofort Senken des Irrigators und Zuwarten. Nach etwa 3 Minuten sieht man beginnende Füllung im unteren Descendens und eine kaum erkennbare feine Kontraststraße zwischen den beiden 10 cm voneinander entfernten Füllungsenden. Der tastbare Tumor entspricht dieser Gegend (Abb. 126).

Lufteinblasung brachte die stenotische Straße auch nicht besser zur Anschauung (Abb. 127).

Diagnose: Stenosierender Tumor des Sigma, offenbar Karzinom.

Operation ergab ein inoperables Sigmakarzinom mit zahlreichen Lebermetastasen.

Einen Parallelfall gibt die Abb. 128 des

Falles 44. G., 60 J. 1923. Abt. 14.

Seit 1 Jahr Beschwerden, Obstipation. Rektoskopie bis 30 cm Höhe o. B.

Der Obstipation wegen Verzicht auf die Breipassage.

Einlauf erfüllt Ampulle, und den ganzen analen Sigmaschenkel, stockt aber im oralen Sigmateil und fließt ganz langsam nach Senken des Irrigators unter Entstehen eines Füllungsdefektes von 5 cm Länge in das Colon descendens. Die Defekträndersind nicht auffällig scharfzackig.

Luftblähung ergibt das gleiche Bild.

Operation unter Diagnose Sigma-

Abb. 127. Karzinom der Sigmaschlinge. Fall Eb. Nr. 43. Kombinierte Bariumluftfüllung. Füllungsdefekt mit Bariumresten entsprechend dem Tumor. Aufnahme im Stehen.

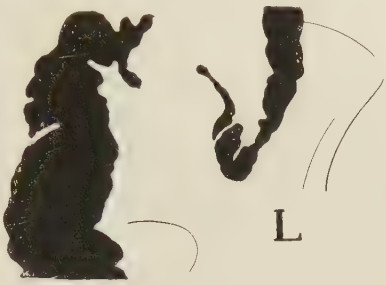


Abb. 128. Karzinom der Sigmaschlinge. Fall G. Nr. 44. Einlaufuntersuchung zeigt Füllungsdefekt im Tumorbereich.

karzinom deckt einen hühnereigroßen, gut beweglichen Sigmatumor auf, der durch zahlreiche Lebermetastasen als sicheres Karzinom anzusprechen ist.

Daß man bei der Diagnose Füllungsdefekt zuweilen vorsichtig sein muß, mag Abb. 129 Fall 45 illustrieren. Hier wurde bei einem Kontrasteinlauf eine Schattenaussparung am Rande des Sigma gefunden, die zwar eine schärfere Begrenzung aufwies, als es sonst Tumorfüllungsdefekte zeigten, aber doch als verdächtig angesprochen werden mußte. Bei einer zweiten Durchleuchtung war dieser Schattendefekt nicht mehr zu sehen. Da sonst keinerlei Tumorverdacht vorlag, mußte dieser Schattenausfall als ein der Darmwand fest anliegender Kotballen angesprochen werden. (Jetzt nach 3 Jahren ist Pat. völlig gesund).

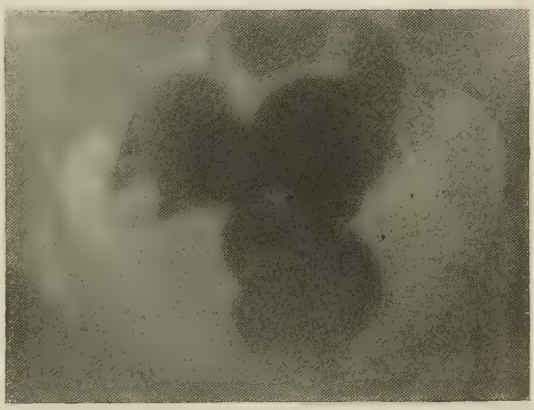


Abb. 129. Beispiel eines durch einen Kotballen bewirkten Füllungsdefektes (Flexura sigmoidea).

Als letzter Karzinomfall sei noch das Bild einer recht seltenen Erkrankung wiedergegeben, einer diffusen Polyposis coli et recti mit Übergang in Karzinom.

Fall 46. Hä., 31 J. 1923. Abt. 30.

Seit 1914 vielfach unter Diagnose Ruhr behandelt. Anlegung einer coekalen Spülfistel, dann eines Coekalafters ohne wesentlichen Erfolg. Weiter unverändert Schleim- und Blutabgang.

Einlauf durch den Anus praeter und anschließend Luftblähung per anum ergibt in rechter Seitenlage die Abb. 130 u. 131. Anus praeter durch Binde und Pappdeckel verschlossen.

Wir erkennen an der rechten Seite eine Ansammlung von Kontrastflüssigkeit am Coekalafter, sehen das offenbar frei bewegliche Colon transversum in seiner rechten Hälfte senkrecht dem Auftrieb folgend hochsteigen, dann scharf umbiegen. Die Flexura

Abb. 130. Carcinoma sigmae + Polyposis coli. Fall Hae. Nr. 46. Kombinierte Bariumluftfüllung per clysma. Rechte Seitenlage. ↑↑↑ unregelmäßige Kontur, ⇉→ Ulkusflecken.

Abb. 131. Carcinoma sigmae. Skizze zu Abb. 130 mit Verlaufslinie. × × × = verzerrte Kontur, ↓ ↓ ↓ = Ulkusflecken, dazwischen die Stenose.

lienalis liegt auffällig weit nach der Mittellinie zu, sie wird offenbar durch eine große Milz verdrängt. Weiter ist deutlich eine Schlingenbildung am unteren Descendens und Sigma zu erkennen. Die Haustrierung all dieser Abschnitte ist sehr unbedeutend, es handelt sich um einen ausgeschalteten inaktiven Darm, für den dieser Befund typisch

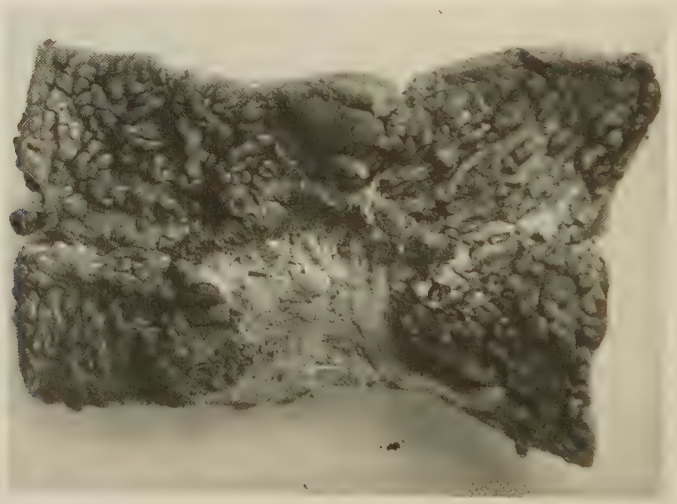


Abb. 132. Polyposis coli + Carcinoma sigmae. Fall Hae. Nr. 46. Resektionspräparat.

ist. Geht man nun weiter abwärts, so werden die Konturen auffällig, die mediale, durch Pfeile gekennzeichnete Kontur des unteren Sigma ist im Vergleich zur lateralen Kontur sehr unregelmäßig, das Lumenfeld ist in ganzer Ausdehnung feinfleckig, weiter abwärts sieht man eine Reihe gröberer Flecken, wie wir sie als typisch für Geschwüre kennengelernt haben. An dieser Stelle verengt sich der Darm stark.

Röntgenologisch ergab sich also eine geschwürige Stenose des unteren Sigma, da früher die Diagnose auf chronische Ruhr gestellt war, wurde als ätiologisches Moment die Ruhr angenommen.

Die Operation überraschte uns, sie brachte uns das in Abb. 132 wiedergegebene Darmstück. Wir sehen eine dichte gleichmäßige Polyposis und ein tellerförmiges Karzinom. Histologisch ließ sich erweisen, daß eine echte Polyposis, also ein angeborenes Leiden und keine Ruhrpseudopolyposis vorlag.

So gut wie in dem Falle Müller werden sich aber nur selten Polypen darstellen und nur dann, wenn es sich um große Exemplare handelt (Abb. 133). —

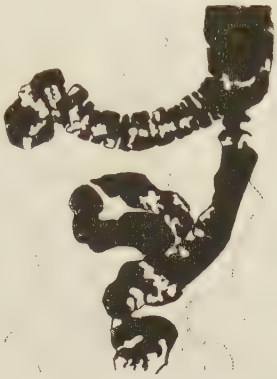


Abb. 133. Polyposis coli. Füllungsdefekte (nach Müller).

Während wir also in diesem Falle eine entzündliche Stenose annahmen und ein Karzinom fanden, war die Situation im folgenden Falle gerade umgekehrt.

Entzündliche Tumoren der Sigmaschlinge.

Fall 47. Kr., 68 J. 1921. Abt. 30.

Seit $^1/_2$ Jahr 10—12 mal tgl. Entleerung geringer Stuhlmengen, diarrhoisch mit Blutbeimengung. Gewichtsabnahme.

Rektoskopisch in 18 cm Höhe Ödem, weiteres Vordringen nicht möglich. Tumor nicht palpabel.

Einlaufuntersuchung ergibt nach normaler Entfaltung der Ampulle im Sigma

1. eine unregelmäßige Kontur der Darmwand,

2. eine starke Einengung des Lumens. Nach langsamem Passieren dieser Stelle rasche Füllung des übrigen Dickdarmes. Dann Aufnahme, die Abb. 134 wiedergibt,

3. geringe Intensität des wolkig fleckigen Schattens.

Abb. 134. Ulcus simplex des Colon sigmoideum. Fall Kr. Nr. 47. Spasmus oder Stenose, erwiesen durch dichteren Schatten oberhalb des Ortes unregelmäßiger Füllung (Pfeile). Seitenverkehrt.

Wir sehen die Zeichen einer starren, kurzen Stenose. Zwar ist die Stenose nicht scharfzackig begrenzt, wie wir es beim Karzinom oftmals sehen, aus der Gesamtheit der Symptome wurde jedoch die Diagnose eines Karzinoms der Sigmaschlinge gestellt.

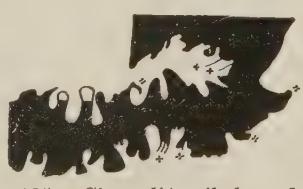


Abb. 135. Sigmadivertikel und spitze Divertikelzacken, außerdem sind größere Divertikel mit Luftblase erkennbar. Nach Wolff, Fortschr. d. Röntgenstr., Bd. 26.

Die Operation ergab einen umschrieben stenosierenden, ziemlich weich sich anfühlenden infiltrativen Prozeß, den man als kleines Karzinom ansprach.

Das aufgeschnittene Präparat ergab lediglich ein Ulkus ohne wesentliche Wandinfiltration von 2-Markstück-Größe, kein Karzinom (histologisch exakt untersucht).

Wie im pathologisch anatomischen Teile eingehend ausgeführt wurde, ist das Sigma nächst dem Coekum ganz außerordentlich häufig der Sitz von Pseudotumoren: während am Coekum die Appendizitisfolgen vorherrschen, spielt hier im Sigma die Divertikulitis die Hauptrolle. Ich bin nun leider nicht in der Lage, ein Röntgenbild solcher Divertikulitis zu bringen, da unsere eigenen Fälle fast alle im Stadium des Ileus als Eilfälle operiert wurden und weil andere Fälle noch keine einwandfreie Klärung aus der Art des Verlaufs gefunden haben (echter oder Pseudotumor), bei denen bei der Operation der Verdacht einer entzündlichen Neubildung bestand.

Abb. 136. Dickdarmdivertikel — Spasmen im Descendens und Sigma. Breipassage, nach 24 Std. kombiniert mit Kontrasteinlauf. (Nach Ch. D. Enfield, Am. journ. of r. Sept. 1924.)

Abb. 137. Dickdarmdivertikel — Divertikelfüllungen bei geleertem Darm 48 Std. nach Breimahlzeit, 24 Std. nach Kontrasteinlauf. (Nach Ch. D. Enfield, Am. journ. of. r. Sept. 1924.)

Erkennt man bei einem solchen Stenosefall des Sigma Divertikelfüllungen, so ist der Schluß berechtigt, auch die Ursache für den bestehenden Tumor in einem Divertikel zu suchen. Das entzündete Divertikel selbst wird nie darstellbar sein. Solche röntgenologischen Divertikelbilder finden wir vielfach in der Literatur. De Quervain, Lenk, Wolff, Carman Miller, Lockhart-Mummery, Enfield u. a. haben solche Bilder publiziert. Wir sehen die Divertikel entweder als spitzige, zackige Ausläufer, die den Haustren aufsitzen (Abb. 135) oder als kugelige Gebilde außerhalb der Darmkontur (Abb. 136 u. 137). Voraussetzung für die Darstellung ist natürlich, daß die Kontrastmasse in die Divertikel eindringen kann. Sind diese mit Kotpartikeln vollgepropft, so ist eine Sichtbarmachung nicht möglich. Bei guter Vorbereitung

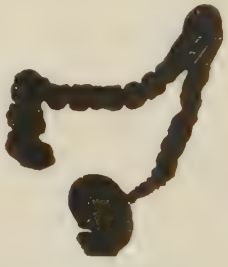


Abb. 138. Sigmoiditis. Fall La. Nr. 48. Stets spitzig zackige Kontur der kontrahierten Sigma. Einlauf.

durch Abführmittel und Seifeneinläufe ist aber auch eine Entleerung der Divertikel zu erhoffen. Nach Ablassen der Kontrastflüssigkeit oder nach Entleerung des Kontrastkotes wird man die gefüllten Divertikel als kugelige Reste sehen (Abb. 137). Es ergibt sich also die Forderung, speziell auf das Sigma zu achten, nachdem man den Einlauf wieder hat entleeren lassen. Daß verkalkte Phlebolithen (Carman u. a. m.) hier zuweilen uns täuschen können, sei kurz erwähnt.

Neben den entzündlichen Tumoren des Dickdarmes müssen wir uns aber auch mit den einfachen Sigmaentzündungen befassen, die in ihren Symptomen ganz einem Karzinom gleichen können. Spasmus an den entzündeten Stellen führt zur Obstipation, die lokale Entzündung bewirkt Schleim- und Blutabgang. Diese Fälle haben beim Einlauf und bei der Passage nie ein gut entfaltetes Sigma, stets ist es schmal und spitzig haustriert. Taylor laparotomierte in einem derartigen Fall, wo sogar ein Tumor tastbar war. Er hält Obstipation für die Ursache von Geschwüren und Spasmen.

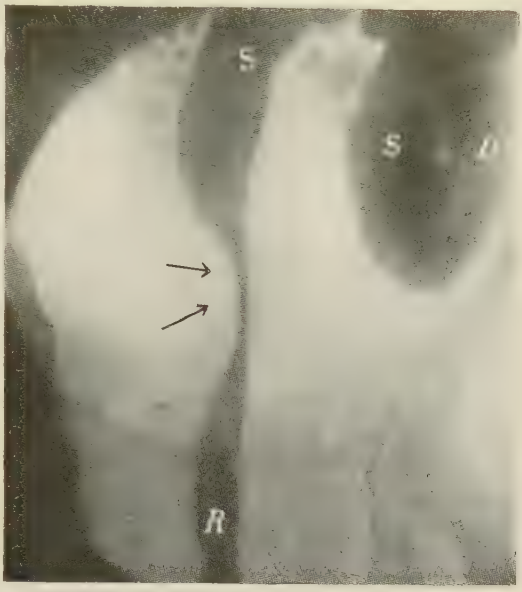


Abb. 139. Lues des Colon pelvinum und Rectum. Stenose ↑↑. (Nach Schwarz-Schittenhelm.)

Dazu Fall 48. L., 58 J. 1922/1924. Abt. 30/32.

Seit $^1/_2$ Jahr Kreuzschmerzen, Tenesmen, Blut- und Schleimabgang. Rektoskopisch ist nicht weiter als bis zu 15 cm Höhe vorzudringen.

Palpation zeigt Druckschmerz, aber keinen Tumor.

Breipassage ergibt Entleerung in 36 Stunden, Füllung des Sigma war bei mehrfacher Durchleuchtung nie sichtbar.

Einlauf füllt ohne weiteres das ganze Kolon, das Sigma ist kurz (verkürzt?), es liegt dem Rande des kleinen Beckens eng an, ist verschmälert, die Konturen scharfspitzig haustriert (Abb. 138).

Abb. 140. Karzinom des Colon pelvinum. Ringstenose. Einlaufbild.

Diagnose: Sigmoiditis.

Da Gewichtsabnahme andauert, Vorschlag zur diagnostischen Laparotomie. Wir erkennen bei der Operation ein offenbar in der Längsrichtung kontrahiertes Sigma mit geröteter verdickter Wand. Ganz offenbar besteht auch eine diffuse Kontraktion der Ringmuskeln. Kein Tumor!

Im weiteren Verlauf entwickelte sich an dieser Stelle allmählich eine narbige Stenose. Beobachtung dauert an. Operation abgelehnt.

Die Sigmaschlinge wird zuweilen bei starker Blähung des Ileum gegen den Rand des kleinen Beckens gedrückt. Die Flüssigkeit stockt dann bei der Irrigoskopie an dieser Stelle. Oft sah ich einen fingerlangen, scheinbar stenotischen Gang an dieser Stelle, der sich bei der Luftblähung dehnte. Auch Spasmen bei genitalen Entzündungen können das Bild einer Stenose vortäuschen. Mehrfache Untersuchungen an verschiedenen Tagen und Luftdehnung klären wohl immer die Sachlage.

Wir können in den meisten Fällen nur ganz allgemein die Diagnose einer Stenose des Sigma stellen und können rein röntgenologisch uns nur höchst vorsichtig über die vermutliche Ätiologie äußern. Mehr rundliche Formen für entzündliche Prozesse als charakteristisch zu bezeichnen, ist hier nach meiner Erfahrung nicht möglich. Zu einer derartigen Bewertung der Form haben wir am Ascendens offenbar ein gewisses Recht, am Sigma aber nicht. Man kann hier nur sagen, daß lange parallelrandig röhrenförmige Stenosen wohl durchweg entzündlich sind, aber für die übrigen Formen muß sich die röntgenologische Diagnose auf die Feststellung einer Stenose oder eines das Lumen einengenden Prozesses beschränken. Bilder wie sie uns Fall 39 gezeigt hat, kann man allerdings ziemlich sicher für Karzinome ansprechen, derartige partielle Füllungsdefekte sind hier aber selten, meist entsprechen die Fälle den Typen der Fälle 40 u. 41, also der Kotstagnation vor der Stenose oder der langen engen Stenose.

Daß auch die Lues hier neben der Divertikulitis eine wichtige Rolle spielt, ist schon früher erwähnt. Meist hat die Lues dann auch die tieferen Rektalabschnitte ergriffen, so daß sie dem tastenden Finger ohne weiteres zugänglich ist. Ein solches Luesbild entnehme ich der Arbeit Schwarz im Schittenhelmschen Buche. Man erkennt leicht in der Abb. 139 die hochgradige Einengung der Ampulle und die bis in den Anfang der Sigma reichende glattwandige parallelrandige Stenose. Ein derartiges Bild wird man nicht mit einem Karzinom verwechseln können (Fall 49).

Das Colon pelvinum ist kaum je Gegenstand der Röntgenuntersuchung, da es dem Rektoskop, oft auch dem Finger zugänglich ist.

Abb. 140 zeigt eine zirkuläre Stenose eines Karzinoms des Colon pelvinum (Fall 50).

Schlußwort.

Am Schlusse sei betont, daß wir in der Dickdarmdiagnostik nur bei engster, unmittelbarster Zusammenarbeit von Chirurgen und Röntgenologen vorwärts kommen können. Erst durch das dauernde Vergleichen von Operations- und autoptischen Befunden mit den Einzelheiten der Röntgenbilder werden uns in der Differentialdiagnose zwischen heute noch nicht zu trennenden entzündlichen oder karzinomatösen Prozessen Fortschritte beschieden sein. — In Sonderheit wird dann aber auch die Zuverlässigkeit des negativen Befundes steigen und die Zahl der jetzt noch unvermeidbaren diagnostischen Laparotomien wird weiter sinken.

Ich habe in der vorliegenden Übersicht mich selten auf die klinischen Symptome bezogen: Es ist gewiß zum Teil berechtigt, wenn immer darauf hingewiesen wird, daß eine röntgenologische Diagnose nur eine Ergänzung des klinischen Befundes, nichts Selbstständiges ist. Ich meine, man soll aber in dieser Auffassung der Arbeitsweise nicht zu weit gehen. Meines Erachtens soll man sich bei der Röntgenuntersuchung exakt darüber

klar werden, was man allein aus den Bildern und Durchleuchtungsbefunden entnehmen kann, und soll erst in zweiter Linie die klinischen Befunde zur Ergänzung heranziehen. Ich halte es für außerordentlich erziehlich, in jedem Falle die röntgenologische Diagnose vor einer etwaigen Operation ausführlich schriftlich zu fixieren. Aus den operativen und autoptischen Befunden ist dann das Fazit zu ziehen. Schrittweise wird man so Erfahrungen sammeln. Ohne persönliche Erfahrungen wird man überhaupt keine sichere Dickdarmdiagnostik treiben können.

Die Röntgenologie ist gerade auf diesem Gebiet berufen, ein wichtiger Faktor im Kampfe gegen die mörderische Krebskrankheit zu sein. Gelingt die röntgenologische Frühdiagnose des Krebses in weiterem Umfange — wozu natürlich Voraussetzung die frühzeitige Überweisung seitens des Praktikers schon beim Verdacht eines Karzinomleidens ist — so wird auch die Therapie erfolgreicher sein können, als bisher.

Literaturverzeichnis.

Abbe, A case of sigmoid diverticulitis simulating malignancy, demonstrated by radiograph, operation and specimen. Med. rec. 1914, 86 S. 190.

Albers-Schönberg, Die Untersuchung des Magens und Darmes mit der Wismutmethode, M. Kl. 1908 Nr. 45.

— Die Röntgentechnik (3), Hamburg 1910, Lucas Gräfe u. Sillem.

Albrecht, Die Geschwülste des Dünn- und Dickdarms in Hochenegg. — Payr, Lehrb. d. spez. Chir., Berlin.

Altschul, Invaginatio ileocoecalis im Röntgenbilde, M. m. W. 1919 S. 1138.

Anschütz, Über den Verlauf des Ileus beim Darmkarzinom und den lokalen Meteorismus des Coekum bei tiefsitzendem Dickdarmverschluß, Langenb. Arch. 1902, 68, S. 195.

Arnsperger, Über entzündliche Tumoren der Flexura sigmoidea, Mitt. Grenzgeb. 21 S. 557.

Assmann, H., Klinische Röntgendiagnostik der inneren Erkrankungen (3), F. C. W. Vogel, Leipzig.

Bacher, Kasuistik zur Frühdiagnose der Darmstenosen, W. kl. W. 1909 Nr. 29.

Bachlechner, Über entzündliche Ileokoekaltumoren, Bruns Beitr. 124 S. 103.

Bachmann, Kolonca und Polyposis, Freie Ver. d. Chir. Sachsens 4. 5. 1914, ref. nach Müller.

Baer, Über entzündliche Tumoren der Ileokoekalgegend, Zbl. f. d. Grenzgeb. d. M. u. Chir. 1900, 3.

Baetjer and Friedenwald, Röntgenological aspects of lower right quadrant lesions, Americ. journ. of the med. sciences 1920, 160 S. 639.

Bagger, Über Sigmoid-Blasenfistel als Folge chronischer Sigmoiditis, Hospitaltidende 1921 S. 424.

Bensaude et Thibaut, Cancer de l'angle droit du colon, Bull. et mém. de la soc. méd. des hôp. de Paris 1913 Nr. 35.

Berger und Henius, Das Röntgenverfahren im Dienste der Erkennung und Behandlung der Magen- und Darmerkrankungen, D. m. W. 1912 Nr. 14.

v. Bergmann, Die Bedeutung der Radiologie für die Diagnostik der Erkrankungen des Verdauungskanals, Arch. f. Verdauungskr. 1916.

v. Bergmann und Katsch, Über Darmbewegung und Darmform, D. m. W. 1913 Nr. 27.

v. Bergmann und Lenz, Über die Dickdarmbewegungen des Menschen, D. m. W. 1911 Nr. 31.

Birt und Fischer, Seltene Darmstrikturen in Mittelchina, Bruns Beitr. 104 S. 167.

Bock, Fortschritte auf dem Gebiet der Magen-Darmradiologie im Jahre 1911, Sammelreferat, M. Kl. 1912 Nr. 11.

Boese, Über den strikturierenden tuberkulösen Tumor der Flexura sigmoidea, Langenb. Arch. 86 S. 1001.

Borchard, Ileus infolge frischer syphilitischer Neubildung der Flexura lienalis, Langenb. Arch. 1901, 73.

Borelius und Sjöval, Über Polyposis intestini, Bruns Beitr. 1916, 99 S. 424.

Braun (Göttingen), Über entzündliche Geschwülste am Darm, D. Zschr. f. Chir. 1909, 100, und Verh. D. Ges. f. Chir. 1908.

Braun-Wortmann, Der Darmverschluß, Julius Springer, Berlin 1924.

Brunner, Tuberkulose, Aktinomykose, Syphilis des Magendarmkanals, Dtsch. Chir. 1907, Lief. 46e.

Bucky und Fuld, Gasgehalt der Flex. dextr. bei Adhäsionen, Fortschr. d. Röntgenstr. Bd. 30, S. 47, 1923.
Burkhardt, Über Sauerstoffdiagramme des Dickdarmes, M. m. W. 1912 S. 1739.
— Die operative Behandlung des Coecum mobile, Bruns Beitr. 1913, 83 S. 642.
Burseky, Narbige Darmstenosen nach Brucheinklemmungen, Bruns Beitr. 54 S. 360.
Busi, A., La rappresentazione radiografica della valvola ileo-colica (valvola del varolio), Radiol. med. 1921, 8 S. 110.
Carman, The roentgenologic findings in three cases of diverticulitis of the large bowel, Annals of Surgery 1915, 3, ref. Zbl. f. Chir. 1915 S. 732.
Carman, R. D. and Albert Miller, The Roentgen Diagnosis of diseases of the alimentary canal, W. S. Saunders Comp., Philadelphia and London 1917.
Case, X-Ray studies of the ileocecal region and the appendix, Am. Quarterly of roentgenology, Nov. 1912.
— Der röntgenologische Nachweis des multiplen Dickdarmdivertikels, Fortschr. d. Röntgenstr. 30.
— The X-Ray investigation of the colon, International. abstract of surg., Dec. 1914 p. 581.
— X-Ray aid in the diagnosis of carcinoma of the colon Interstate, Med. journ. 1913, 20 Nr. 12.
Chilaiditi, L'hépatoptose avec interposition de viscères entre la foie et la coupole diaphragmatique, Presse méd. janvier 1911 Nr. 6.
Clairmont, Über einen operativ geheilten Fall von entzündlicher Geschwulst des unteren Dickdarmes (Diverticulitis), M. Kl. 1917 Nr. 7.
Cohn, M., Zur Diagnostik der Dickdarmstenose, zugleich ein Beitrag zur Topographie der Leber bei allgemeinem Meteorismus, 3. R.-K. 1907.
Cole und Einhorn, Über Radiogramme des Verdauungstraktus nach Lufteinblasung, Klin. ther. Wschr. 1911 Nr. 5.
Curschmann, Röntgenaufnahmen von zeitweiligem Darmverschluß, Med. Ges. in Leipzig, 29. Juni 1909, ref. M. m. W. 1909 S. 1817.
Czepa, Die Invaginatio ileocoecalis im Röntgenbilde, W. kl. W. 1922 Nr. 2.
v. Czyhlarz und Selka, Beitrag zur radiologischen Diagnostik der Darm- und Dickdarmstenosen, W. kl. W. 1912 Nr. 9.
Dann, Über die von sekundärem Karzinom erzeugten Darmstenosen, D. Zschr. f. Chir. 151 S. 120.
Dietlen, H., Die Insuffizienz der Valvula ileocoecalis im Röntgenbilde, Fortschr. d. Röntgenstr. 21 H. 1.
Doberauer, Über Darmstriktur nach Brucheinklemmungen, Zschr. f. Heilk. 1904, 25.
Doppler, Über einen Fall von Pericolitis ascendens auf Grund einer Diverticulitis Graseri, Langenb. Arch. 128 S. 819.
Drueck, Diverticulitis of the colon, Internat. journ. of gastroenterology, August 1921 S. 164.
Eisenberg, Über die von erworbenen Divertikeln der Flexura sigmoidea ausgehenden entzündlichen Erkrankungen, Bruns Beitr. 83 S. 627.
Enfield, Diverticulosis and diverticulitis of the colon, The americ. journ. of roentg., September 1924 S. 242.
Faulhaber, Die Röntgenuntersuchung des Darmes in Rieder-Rosenthal, Lehrbuch der Röntgenkunde, Leipzig, Joh. Ambr. Barth.
— Die Röntgendiagnostik der Darmkrankheiten, Sml. Abh. der Verdauungskrkh. 5 H. 1.
— Die Röntgenuntersuchung des Darmes, Lehrb. der Röntgenkunde, Leipzig 1913.
Fischer, A. W., Über Röntgenuntersuchung des Dickdarmes mit der kombinierten Methode, Ärztl.-Verein Frankfurt, 3. Dezember 1923, ref. M. m. W. 1924, H. 2 S. 58.
— Die Röntgenuntersuchung des Dickdarmes mit Hilfe einer neuen Methode (Kombination von Kontrasteinlauf und Luftfüllung), Verh. D. Ges. f. Chir. 1923 S. 42.
— Über die Differentialdiagnose zwischen Krebs und Tuberkulose des aufsteigenden Dickdarmes mit Hilfe der kombinierten Luft-Bariumfüllung, D. Ges. f. inn. Medizin, Kongreß Wien 1923.
— Über Schwierigkeiten in der röntgenologischen Diagnose des Dickdarmkrebses, Frankf. Röntgengesellschaft 15. Juli 1924, ref. Fortschr. d. Röntgenstr.
— Über eine neue röntgenologische Untersuchungsmethode des Dickdarmes: Kombination von Kontrasteinlauf und Luftaufblähung, Kl. W. 1923 Nr. 34. Arch. f. Chir. 134 H. 2.
Flemming-Möller, Röntgen Examination of ileocoecal tuberculosis with special reference to the so-called Stierlin sign., Acta rad. 1 S. 267, J. Marcus, Stockholm.
Forssell, Gösta, Discussion Nordesk Förening för medicinsk radiologi, Copenhagen 1921, Acta rad 1. April 1922.
Forster, E., Zur Kasuistik der Darmlipome, Schweiz. m. W. 1921 S. 40.
Franke, Entzündliche Geschwülste am Darm, Verh. D. Ges. f. Chir. 1908, 1 S. 219, Disk.

Franke, Zur Pathologie und Therapie der falschen und erworbenen Divertikel des Dickdarmes, D. m. W. 1909 Nr. 4.
v. Franqué, Darm- und Hautschädigungen nach Röntgenbestrahlungen, Zbl. f. Gyn. 1918, 1. 1.
Fritzsche und Stierlin, Experimentelle Untersuchung der Dickdarmfunktion beim Affen, Verh. D. Ges. f. inn. Med., Wiesbaden 1912.
— Zur Pathologie des Ileus, M. Kl. 1914 Nr. 31.
Füth, Über pseudokarzinomatöse Infiltration der Darmwand bei entzündlichem Adnexuterus, Mschr. f. Geburtsh. 1907.
Gangitano, Über periappendizitische pseudo-neoplasmatische entzündliche Tumoren, Langenb. Arch. 1909, 89.
George and Gerber, The value of the roentgenmethod in the study of chronic appendicitis and inflammatory conditions both congenital and acquired about the coecum and terminal ileum, Surg., gyn. and obst. Oktober 1913 S. 418.
Giffin, The diagnosis of diverticulitis of the large bowel, a clinical review of 27 cases, Journ. of the am. med. ass. 1912 S. 864.
Gocht, Hermann, Handbuch der Röntgenlehre, Stuttgart, Enke.
Goetze, Otto, Die röntgenologische Differentialdiagnose der Abdominalerkrankungen mittels des Pneumoperitoneums, Kap. 33 des Lehrbuchs der Röntgendiagnostik von Groedel (4), J. F. Lehmann, München 1924.
Goldammer, Franz, Die Röntgendiagnostik der chirurgischen Erkrankungen des Verdauungskanals (2). 1916, Hamburg, Lukas Gräfe & Sillem.
Goldschmidt, W., Einige Bemerkungen über Darminvaginationen, Mitt. Grenzgeb. 1921, 34 S. 112.
Goto, Über die einfach chronisch entzündliche Striktur des Darmes, Langenb. Arch. 97 S. 190.
Graham, Diverticulitis of the colon, Intern. journ. of gastroenterology, August 1921 S. 164.
Graser, Darmstenose, bedingt durch Perforation multipler falscher Divertikel, Chir. Kongr. 1898.
Grath, Mc., Intestinal diverticula their etiology and pathogenesis, Surg., gyn. and obst. 1912, 15 S. 429.
Griffith, F., Actinomycosis of the coecum, Surg., gyn. and obst. 1921, 33 S. 548.
Groedel, Franz M., Die Röntgenuntersuchung des Magendarmkanals in Groedel: Röntgendiagnostik in der inneren Medizin, Lehmanns Atlanten 7, 1, München.
— Die Insuffizienz der Valvula ileocoecalis im Röntgenbild, Fortschr. d. Röntgenstr. 1913, 20.
— Die Röntgendiagnostik pathol. Veränderungen der Ileokoekalgegend, Verh. D. Röntg. Ges. 1912.
— Die Röntgenuntersuchung des Darms, Ärztl. Ver. Frankfurt, 7. Dezember 1908.
Groedel und Schenk, Die Wechselbeziehung zwischen Füllung, Form und Lage von Magen und Dickdarm, M. m. W. 1911 Nr. 48.
Habeknecht, Der gegenwärtige Stand der Röntgenuntersuchung des Magens und Darmes, W. m. W. 1913 Nr. 32.
v. Haberer, Mitteilung eines Falles von chronischer Dickdarmstenose an der Flexura lienalis, W. kl. W. 1909 S. 1584.
Haenisch, Beiträge zur röntgenologischen Dickdarmdiagnostik, Verh. D. Röntg. Ges. 10.
— Über direkte Irrigo-Radioskopie des Kolons, W. kl. W. 1913 Nr. 14.
— Das Röntgenverfahren im Dienste der Pathologie und Therapie des Magen-Darmkanals, Disk., Verh. D. Ges. f. inn. Med., Wiesbaden 1912.
— The roentgen examination of the large intestine, Arch. of the Roentgen ray. 1912, 17.
— Seltenere Röntgenbefunde, Verh. D. Röntg. Ges. 9 S. 38.
— Stereoskopische Röntgenographie mit besonderer Berücksichtigung der Momentaufnahmen des Magendarmtraktus, Verh. D. Röntg. Ges, 8 S. 64.
— Über die Leistungen des Röntgenverfahrens bei den Untersuchungen des normalen und pathologischen Dickdarms, Röntgen-Taschenbuch 1912, 4.
— Die Röntgenuntersuchung bei Verengerung des Dickdarms. Röntgenologische Frühdiagnose des Dickdarmkarzinoms, M. m. W. 1911 Nr. 45.
— Über die Röntgendiagnose bei Dickdarmuntersuchungen, Verh. D. Röntg. Ges. 7.
v. Haßlin, H., Klinisch-röntgenologische Beobachtungen bei Verengerungen des Darmlumens, Zschr. f. Röntgenk. 1913, 15 H. 9.
Hagenbach, Über Dickdarmstenosen nach perikolitischen Adhäsionen, D. Zschr. f. Chir. 103 S. 608.
Hagler, Fr., Dissecting interstitial abscess of caecal wall, Surg. gyn. a. obst. 1920, 31 S. 485.
Hain, Über primäre akute, zirkumskripte Kolitis, D. Zschr. f. Chir. 113 S. 319.
Handeck, Über den röntgenologischen Nachweis der Magenkolonfistel, W. m. W. 1912 Nr. 47.
— Disk. zu Schwarz: Zur rechtzeitigen Erkennung des Dickdarmkrebses, Fortschr. d. Röntgenstr. 1924, 32 S. 52.

Haudeck, Beiträge zur röntgenologischen Diagnostik des Karzinoms der Verdauungswege, 85. Vers. D. Naturforscher 1913.
Hausmann, Über die topographische Gleit- und Tiefenpalpation und die bei der autoptischen und röntgenologischen Kontrolle ihrer Ergebnisse maßgeblichen Prinzipien, Verh. D. Ges. f. inn. Med. 1912.
Hausmann und Meinertz, Radiologische Kontrolluntersuchungen betreffend die Lagebestimmung des Magens und Dickdarms mittels der topographischen Gleit- und Tiefenpalpation, D. Arch. f. klin. M. 1912, 108.
Hertz, Irrtümer auf Grund röntgenologischer Untersuchung des Verdauungstraktus, Verh. D. Ges. f. inn. M. 1912.
Hesse, Beitrag zur Methodik und zu den Ergebnissen der Magendarm-Röntgenologie, Zschr. f. Röntgenk. 15 H. 3—5.
Hildebrand, Über den diagnostischen Wert der Röntgenstrahlen in der inneren Medizin, M. m. W. 1901 Nr. 49/50.
— Über die Methode, durch Einbringen von schattengebender Flüssigkeit Hohlräume des Körpers im Röntgenogramm sichtbar zu machen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1907, 9 S. 96.
Hinglais, M., Actinomycosis of the caecum and appendix, Internat. clin. 1921, 3 S. 59.
Hoffmann, A., Zur Röntgenuntersuchung von Magen und Darm, M. m. W. 1912 S. 2498.
Hofmeister, Darmaktinomykose, Bruns Beitr. 1906, 26 S. 344.
Holland, Der strikturierende tuberkulöse Tumor der Flexura sigmoidea, D. Zschr. f. Chir. 1907, 88.
Holzknecht, Der gegenwärtige Stand der Röntgenuntersuchung des Magens und Darms. XVII. Internat. Kongr. f. inn. Med. London 1913.
— Die Röntgenuntersuchung des Darms, Jkurs. f. ärztl. Fortbild. August 1912.
— Die neueren Fortschritte der Röntgenuntersuchung des Verdauungstraktus, B. kl. W. 1911, Nr. 4.
Jaffé, Entzündliche Geschwülste am Darm, Verh. D. Ges. f. Chir. 1908, 1 S. 218, Disk.
Jolasse, Über den derzeitigen Stand der Röntgendiagnostik bei Magen-Darmkrankheiten, M. m. W. 1907 Nr. 29.
Kaestle, Bolus alba u. Bismut. subnitricum, eine für die röntgenologische Untersuchung des Magen-Darmkanals brauchbare Mischung, Fortschr. d. Röntgenstr. 11 S. 266.
Kaplan, Ein seltener Fall von Aktinomykose-Appendizitis, Langenb. Arch. 1924, 128 S. 410.
Karewski, Über Intussuszeption des Colon descendens und deren röntgenologische Diagnose, D. m. W. 1921, 5 S. 990.
Kausch, Chirurgie des Magens und Darms in Garré, Küttner, Lexer (5), Hb. der prakt. Chir. 1923, 3 S. 360.
Kienböck, Über einen Fall von Tumor an der Ileocökalklappe, Verh. D. Röntg. Ges. 7.
— Zur Röntgendiagnose der Colitis ulcerosa, Fortschr. d. Röntgenstr. 20 H. 3.
— Zur radiologischen Diagnose der Magen-Darmerkrankungen, W. m. W. 1912 Nr. 16.
Kloiber, H., Die Röntgenuntersuchung der Darminvagination, Fortschr. d. Röntgenstr. 1921, 28 S. 351.
— Die Röntgenuntersuchung der Darminvagination, Fortschr. d. Röntgenstr. 28 S. 531.
— Die Röntgendiagnose des Ileus ohne Kontrastmittel, Langenb. Arch. 1919, 112 S. 350.
Köhler, Zur Frage der isolierten Sigmoiditis und Perisigmoiditis, Zbl. f. d. Grenzgeb. d. M. u. Chir. 1912, 15.
König, Beobachtungen über intestinale Aktinomykose, Mitt. Grenzgeb. 25 S. 119.
Körte, W., Über entzündliche Geschwülste am Darm, Langenb. Arch. 1921, 118 S. 138.
Krause und Schilling, Die röntgenologischen Untersuchungsmethoden mit besonderer Berücksichtigung der Kontrastmittel, Fortschr. d. Röntgenstr. 20 H. 5.
Kreuter, Über Perforationen des Coekum bei tiefem Dickdarmverschluß, Zbl. f. Chir. 1919 S. 509.
Kronberg, Über Anwendung der X-Strahlen in Verbindung mit Quecksilber zur Diagnose bei Darmstenose und Fistelgrenzen, W. m. W. 1896 Nr. 12.
Kümmel, Röntgendiagnose der Darmtumoren, Ärztl. Ver. Hamburg 15. Dezember 1908.
Küttner, Über den isolierten tuberkulösen Tumor des Colon ascendens, D. Zschr. f. Chir. 100 S. 212.
Laewen, Über Appendicitis fibroplastica, D. Zschr. f. Chir. 129, S. 221.
Lang, Nachweis einer Verengerung des Coekum im stereoskopischen Röntgenogramm, Fortschr. d. Röntgenstr. 12 H. 2.
Lange, Über Ileocoekaltuberkulose, Münch. Röntg. Ver. 18. Oktober 1923, ref. Fortschr. d. Röntgenstr. 31 S. 766.
Laurell, Hugo, Demonstration Proceedings of the Nordisk forening för medicinsk radiologi, Copenhagen 1921, Acta rad 1922, T. 4 S. 491.

Leaming, The roentgen diagnosis of mechanical obstruction of the colon following peritonitis with effusion caused by appendicitis, Arch. of the Roentgen ray, Nr. 127, zit. nach Stierlin.
Lehmann, Ein Fall von Invaginatio ileocoecalis im Röntgenbilde, Fortschr. d. Röntgenstr. 21 H. 5.
Lejars, Dickdarmstenose, Spätfolge nach Trauma, Sem. med. 1912 Nr. 16.
Levy-Dorn, Zur Diagnose der Magen-Darmkrankheiten mit Röntgenstrahlen, Verh. D. Röntg. Ges. 7.
Liek, Zur Kenntnis der Darmaktinomykose, M. Kl. 1918 Nr. 2.
Linthicum, Diverticulitis of the colon, Intern. journ. of gastro-enterology, August 1921 S. 165.
Lockhart-Mummery, Diverticulitis of the colon, Internat. journal of gastro-enterology, August 1921 S. 160.
Loeper, M., La tuberculose iléo-caecale, Progr. méd., 1922 S. 135.
Löhfeldt, Die Röntgendiagnose der Coekaltumoren, Verh. D. Ges. f. inn. M. 1912.
Lorenz, Irrtümer der Röntgendiagnostik, Verdauungsorgane, in Irrtümer der allg. Diagnostik und Therapie, Schwalbe-Grasbey, G. Thieme, Leipzig 1924.
Lossen, Röntgenbeobachtungen über das Schicksal verschieden großer Darmeingießungen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1923, 30 S. 48.
Luger, Zur Kenntnis der radiologischen Befunde am Dickdarm bei Tumoren der Nierengegend, W. kl. W. 1913 Nr. 7.
Madelung, Anatomisches und Chirurgisches über die Flexura coli sinistra, Langenb. Arch. 81 S. 206.
Majerus, F., Zur Diagnose und Chirurgie des Dickdarmkarzinoms, Bruns Beitr. 118 H. 2.
Mandel, Über entzündliche Geschwülste des Bauches, Bruns Beitr. 1900, 83 S. 652.
Markiewitz, Die Röntgendiagnostik intraabdomineller Tumoren aus der Verlagerung des Dickdarmes, B. kl. W. 1921 Nr. 27.
Matthes, Kotsteine, Verh. D. Ges. f. inn. M. 1912.
Mayo, Wilson and Giffin, Acquired diverticulitis of the large intestine, Surg., gyn. and obst. 1907, 5 S. 8.
Mills and Soper, Roentgen-ray evidence of colonic secondary changes, The americ. journ. of roentgenology, June 1924 S. 487.
Mokrowski, P., Zur Frage der Enterolithen, Ärztl. Anz. d. Gouv.-Gesundheitsamts u. d. Rigaschen Militärhosp. Wologda 1921 S. 21, ref. Z. O. f. d. ges. Chir.
Müller (Rostock), Entzündliche Geschwülste am Darm, Verh. D. Ges. f. Chir. 1908, 1 S. 220, Disk.
Müller, W., Über Polyposis intestini mit besonderer Berücksichtigung des Röntgenbefundes, Bruns Beitr. 119 S. 683.
Muff, Das Röntgenbild der chronischen Darminvagination, Bruns Beitr. 1920, 118 S. 143.
Nothnagel, Die Erkrankungen des Darmes und des Peritoneums, Hb. spez. Path. u. Ther., Wien 1898.
Odescalchi, Studio radiologico del colon ileo-pelvico nei tumori utero-annessiali, Radiol. med. 1922, 9 S. 5, ref. Z. O. f. d. ges. Chir., D. Zschr. f. Chir. 118 S. 463.
Oseki, Polyposis intestini adenomatosa mit Carcinoma recti, D. Zschr. f. Chir. 118 S. 463.
Payr, Über eigentümliche, durch abnorm starke Knickungen und Adhasionen bedingte Neurosen an der Flexura lienalis und hepatica coli, Verh. d. Ges. f. inn. M. 1910.
— Über eine eigentümliche Form chronischer Dickdarmstenose an der Flex. coli sin., Langenb. Arch. 1905, 77 S. 671.
Pers, Die Bedeutung der Röntgenuntersuchung bei der Diagnose von Kolonadhäsionen, D. m. W. 1912 Nr. 43.
Pförringer, Ein Fall von röntgenologisch lokalisierter Dickdarmstenose, Fortschr. d. Röntgenstr. 19 H. 1.
de Quervain, Spezielle chirurgische Diagnostik (6), F. C. W. Vogel, Leipzig 1919.
— Chirurgische Erfahrungen mit der Radiologie des Magen-Darmkanals, Verh. D. Ges. f. inn. M. 1912.
— Zur Diagnose der erworbenen Dickdarmdivertikel und der Sigmoiditis diverticularis, Verh. D. Ges. f. Chir. 1914 S. 128.
— Über die praktische Bedeutung der Röntgenuntersuchung bei Erkrankungen des Magen-Darmkanals, Korr.Bl. Schw. Ärzte 1912 Nr. 27.
— Die operative Behandlung chronisch entzündlicher Veränderungen und schwerer Funktionsstörungen des Dickdarmes mit Ausschluß von L. T. A., Erg. d. Chir. u. Orthop. 1912, 4.
Regnier, Die Invaginatio ileocoecalis im Röntgenbilde, Fortschr. d. Röntgenstr. 1923/24, 31 S. 697.

Reichel, Entzündliche Geschwülste am Darm. Verh. D. Ges. f. Chir. 1908. 1 S. 218. Diskussion.
Reveroz, Positives und negatives Stauungssymptom bei Ureterenkalkulosen. Fortschr. d. Röntgenstr. 26.
Ribadeau-Dumas, Le pneumopéritoine et l'air recueilli par insufflation rectale. Bull. et mém. de la soc. méd. des hôp. de Paris 1921. S. 1367.
[illegible]
Verh. D. Ges. f. inn. M. 1912.
[illegible]
über den zeitlichen Ablauf der Verdauung. Fortschr. d. Röntgenstr. 1904. 8 S. 242.
[illegible]
— Röntgenuntersuchungen des Magens und Darms. M. m. W. 1906 Nr. 5.
— Diskussion zu Lange, Münch. Roentg. Ver. 28. IV. 1926. Fortschr. d. Röntgenstr. 32 S. 796.
[illegible]
Nr. 30 S. 1048.
Rossi, A., Radiogramma della lesione del cecale. Radiol. med. 1921. 8 S. 127.
de Ruyter, Entzündliche Geschwülste am Darm. Verh. D. Ges. f. Chir. 1908. 1 S. 220. Diskussion.
Schenk, E., Über die Darstellung von Divertikulumsteinen durch das Röntgenverfahren. Fortschr. d. Röntgenstr. 12 H. 5.
Schiller, K., Ein operierter und geheilter Fall von Stenosis sigmoidea nach Perforation. Chirurgenkongr. 1920. Nr. 37 S. 436. ref. Z. f. d. ges. Chir.
Schittenhelm, Lehrbuch der Röntgendiagnostik. Berlin, Springer 1925.
Schlesinger, Emmo, Die Röntgendiagnostik der Magen- und Darmkrankheiten. 2. Urban und Schwarzenberg. Berlin-Wien 1922.
[illegible]
Krise. B. kl. W. 1918 Nr. 37.
[illegible]
M. m. W. 1912 S. 618.
[illegible]
dauungskr. 22.
Schmidt, v. Noorden, Klinik der Darmkrankheiten, Bergmann, Wiesbaden 1922.
[illegible]
Path. u. Ther. im. Krankh., Urban u. Schwarzenberg, Berlin-Wien.
Schroeder, C., Über chronisch entzündliche Veränderungen im Bereiche des Coecum und Colon ascendens. Langenb. Arch. 1924. 129 S. 479.
Schule, Über die Sonderung und Radiographie des Divertikulums. [illegible]
10 H. 2. M. m. W. 1904 Nr. 26.
[illegible]
[illegible]
Nr. 28.
[illegible]
— Klinische Röntgendiagnostik. Springer. Berlin 1924.
— Über die Irrigo-Radioskopie des Kolons. W. kl. W. W. 1923 Nr. 3.
— Zur rechtzeitigen Erkennung des Divertikumkarzinoses. Fortschr. d. Röntgenstr. 1924. 31 S. 32.
Schwarz und Noruseinsky, Die Röntgenuntersuchung des Divertikulums während [illegible] Hilfsmittel zur Diagnose stenosierender Bildungen. W. kl. W. 1912 Nr. 26.
— Eigenartige Röntgenbefunde am Divertikulum bei [illegible] W. kl. W. 1912 Nr. 39.
Sciova, Zur Pathologie und Therapie [illegible] Langenb. Arch. 87 S. 982.
Simmonds, Über strikturierende Perisigmoiditis. M. m. W. [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]

Zur Frage der Knochenatrophie

Von

Ass.-Arzt Dr. med. **E. Friedl** und Doz. Dr. med. **H. R. Schinz**

Mit 10 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Grundlegende Arbeiten von Sudeck und Kienböck. Stellungnahme der älteren Schule Billroths zur Frage der akuten Knochenatrophie 97

II. Spezieller Teil 101

A. Primäre Noxe 102
B. „Latenzzeit" im Röntgenbild 104
C. Prädilektionsstellen 105
D. Bemerkungen zur Klinik der Knochenatrophie 106
E. Pathologische Anatomie 107
F. Experimentelle Arbeiten 111
G. Ätiologie 113
H. Röntgenbild der Knochenatrophie 120

Zusammenfassung 126

Literaturverzeichnis 128

I. Die grundlegenden Arbeiten von Sudeck und Kienböck. Stellungnahme der älteren Schule Billroths zur Frage der akuten Knochenatrophie.

Sudeck[1]) beschrieb 1900 in den Fortschr. d. Röntgenstr. Bd. 3: „Zur Altersatrophie und Inaktivitätsatrophie der Knochen" und als Fortsetzung dieser Arbeit in Langenb. Arch. 1900, Bd 62: „Über akute entzündliche Knochenatrophie" erstmalig das Röntgenbild der Knochenatrophie überhaupt und machte hierbei in seiner zweiten Arbeit auf eine bisher unbekannt gebliebene Form der Knochenatrophie bei akut entzündlichen Affektionen der Knochen und Gelenke und bei langdauernden Weichteilphlegmonen aufmerksam, die sich gegenüber der in den Lehrbüchern beschriebenen Alters- und Inaktivitätsatrophie unterscheidet durch das Merkmal der „aktiven Atrophie". So führt z. B. Volkmann in seiner klassischen Arbeit „Die Krankheiten der Knochen" (Handbuch der allg. u. spez. Chirurgie v. Pitha und Billroth 1865, 2) bezüglich der Knochenatrophie folgendes aus:

„Ätiologisch sind für das Zustandekommen der Knochenatrophie im engeren Sinne (zum Unterschiede von Knochenaplasien im Sinne von Hemmung des normalen Knochenwachstums) hauptsächlich 2 Momente wirksam: Inaktivität und Senilität. Inaktivitätsatrophien treten namentlich nach Lähmung und jahrelang sich hinschleppenden Entzündungen und Eiterungen an den Extremitäten auf, deren Knochen die höchsten Grade der exzentrischen Atrophie und die größte Brüchigkeit darbieten können." Dies entspricht nach heutiger Auffassung den chronischen Formen der akuten Knochenatrophie. Der Begriff akute Knochenatrophie ist ihm natürlich unbekannt; den Zustand akuter Rarifikation von Knochen dagegen kannte er wohl; dieser wurde aber von ihm begrifflich der rarifizierenden Ostitis zugerechnet. „Die rarifizierende Ostitis tritt nicht nur für sich als selbstständige Störung auf, sondern kompliziert auch die schwersten Fälle der Karies (nach heutiger Anschauung akute Knochenatrophie), vermittelt die Heilung von Knochenwunden und Knochenentblößungen, führt die Lösung der Sequester bei der Nekrose herbei usw." (S. 250 und S. 355).

Bezeichnete Sudeck diese Form 1900 noch als „akut entzündliche Knochenatrophie", so nannte er diese Affektion 1902 im Anschluß an Kienböck und in Analogie zur akuten Muskelatrophie, die jene öfters begleitet, „akute reflektorische Knochenatrophie".

Das Röntgenbild der Knochenatrophie überhaupt beschreibt Sudeck (1900) mit folgenden Sätzen: „Der ganze Knochen ist durchlässiger und die Schatten weniger tief (wir sprechen heute von ‚Schattenaufhellung'); bei ganz hochgradigen Fällen sieht man die Struktur verschwinden, bei leichteren Fällen ist sie viel zarter, als normal. Die Kortikalis der spongiösen Knochen ist deutlich dünner und weniger tief schattend, die der Röhrenknochen löst sich oft in deutlich erkennbare Fasern auf." Sudeck macht bei der Beschreibung eines Amputationsstumpfes des Femur darauf aufmerksam, daß am meisten noch von der Struktur des Druckfasersystems erhalten ist, während die Fasern

[1]) Prof. A. Köhler machte uns brieflich darauf aufmerksam, daß er „etwa gleichzeitig mit Sudeck" begonnen habe, die Knochenatrophie im Röntgenbild zu studieren und darüber an verschiedenen versteckten Orten Angaben gemacht habe.

des Zugbogensystems, die sich von der Kortikalis der Trochanterseite in einem großen Bogen über den Hals bis in den Kopf hinein erstrecken, fast ganz geschwunden sind und in ihrem Verlauf nicht mehr verfolgt werden können.

Entsprechend der Lehre Wolffs über die Zusammensetzung der Kompakta aus Fasersystemen gleich der Spongiosa, kann man sich diese aus den lamellös aneinandergelagerten Bälkchen der Spongiosa aufgebaut denken. Diesem Röntgenbilde entspricht der von Wilhelm Roux (1896) genauer beschriebene Befund bei „der einfachen Inaktivitätsatrophie der Knochen". Roux führte aus, daß bei der einfachen Inaktivitätsatrophie der Knochen die tubulöse Spongiosa zur lamellösen resp. trabekulären Spongiosa durch Schwund umgebildet wird und daß unter stetiger Abnahme ihrer Dicke die statischen Elemente der Spongiosa völlig schwinden können. Die dadurch sich vergrößernden Zwischenräume werden mit Fettmark ausgefüllt. Die ganze Struktur unterscheidet sich von der normalen nur durch die Rarifikation.

Bezüglich der Unterscheidung der Inaktivitätsatrophie (z. B. bei Frakturen und schlaffen Lähmungen) von der „akuten Knochenatrophie" führt Sudeck aus, daß die Inaktivitätsatrophie erst dann erhebliche Ausdehnung gewinnt, wenn der funktionelle Reiz durch längere Zeit (jedenfalls durch einige Monate) gefehlt hat, während die akute Knochenatrophie auffallend rasch und in bedeutendem Maße eintritt, und zwar nicht nur im direkt ergriffenen Knochen, sondern auch in dem benachbarten, von dem erkrankten Knochen funktionell abhängigen Knochenteil. Die Disproportionalität zwischen Knochenatrophie und Funktion beweisen nach Sudeck folgende Umstände: Auch dort, wo die Funktion nicht völlig aufgehoben ist, tritt dennoch Knochenatrophie ein; umgekehrt bildet sich die Atrophie auch wieder zurück mit dem Rückgange der die akute Knochenatrophie verursachenden akuten Entzündungserscheinungen, auch wenn die Funktion noch recht mangelhaft sein kann; bei spastischen Lähmungen fehlt Atrophie, auch wenn die Belastung seit Jahren nicht vorhanden war und demnach die Kontraktur der Muskeln genügt, um das Eintreten der Atrophie zu verhindern. Bemerkenswerterweise sind solche Gelenke mit atrophischen Gelenkkörpern durch mobilisierende Behandlung ungleich schwieriger beweglich zu machen, als einfach ruhiggestellte Gelenke; ja es bleibt oft dauernd eine gewisse Bewegungseinschränkung zurück.

Aus alledem schloß Sudeck, daß neben der Inaktivität noch ein besonderer Grund vorliegen müsse, der zu akuter Knochenatrophie führt. Am wahrscheinlichsten dünkte ihn in seiner ersten Arbeit eine entzündliche Reizung in weiter Umgebung des Knochenherdes, die diese Ernährungsstörung herbeiführt. Trophische Störungen vom Rückenmark aus werden noch für unwahrscheinlich gehalten. Gleichzeitig betont aber Sudeck, daß die bisher für diese Affektion seit Volkmann übliche Bezeichnung „Ostitis rarificans" nicht glücklich sei, da es sich hier um eine „fettige Atrophie" resp. „Lipomatose" nach Krause handle. Sudeck war sich daher bewußt, daß für diese entzündliche Knochenatrophie keine Mikroben ätiologisch in Frage kommen.

In der nächsten Arbeit (Fortschr. d. Röntgenstr. 1901, 5) führt Sudeck aus, daß in Fällen, wo eine ausgesprochene Funktionsstörung vorlag, nur selten eine deutliche Knochenatrophie vermißt wurde. Nach Traumen jeglicher Art kann, ebenso wie nach langdauernden Entzündungen jeglicher Art, eine Knochenresorption stattfinden. Die Gelenkaffektionen prädisponieren mehr zu Knochenatrophie wie Gelenkbrüche, die Knochenatrophie tritt nach Entzündungen leichter auf als nach einfachen Traumen; besonders bei akuten Entzündungen der Gelenke scheint sie die Regel zu sein, während sie nach Verletzungen nur in der Minderzahl der Fälle beobachtet wird.

Die kürzeste Zeit bis zum Auftreten (an der Hand) beträgt z. B. 4 Wochen, und die Knochenatrophie kann dann schon recht hochgradig sein.

Ob dem Krankheitsprozeß Halisterese oder einfache Resorption zugrunde liegt, wird unentschieden gelassen.

Das Röntgenbild der akuten Knochenatrophie wird im Anschluß an Kienböck, dessen Arbeit unterdessen erschienen war, genauer spezifiziert: Im Anfangsstadium ungleiche fleckige Aufhellung zuerst an der Spongiosa. Die Kortikalis ist noch nicht verschmälert, zeigt aber gelegentlich lochartige Lücken, die etwas später als die Spongiosaveränderungen auftreten. Dieser Zustand kann sich ebenso rasch, als er gekommen ist, auch wieder zurückbilden. Damit verschwindet auch die Funktionsstörung.

Diese akute Form der Knochenatrophie kommt nicht vor bei der langsam entstehenden Inaktivitätsatrophie, bei der Altersatrophie und bei Atrophien infolge peripherer Nervenverletzungen, wohl aber beobachtete er sie bei Herpes zoster mit Neuritis und schweren Funktionsstörungen. Mit Regelmäßigkeit findet er in Fällen akuter Knochenatrophie Veränderungen der bedeckenden Weichteile, und zwar Muskelatrophie und vasomotorische Hautstörungen (Zyanose, Ödeme, schlechte Wundheilung, Kälte der Haut, Hyperkeratose, Schuppungen, Glanzhaut, samtene Weichheit der Haut, Hypertrichose, am regelmäßigsten Zyanose, Ödeme und Hautatrophie).

Sudeck spricht jetzt, im Gegensatz zu seiner ersten Arbeit, von einer trophischen Störung in Analogie zur akuten Muskelatrophie mit der Begründung, daß akute Knochenatrophie auch dort gefunden werde, wo die betreffenden Glieder gar nicht inaktiv waren, daß sie sich durch medikomechanische Behandlung verschlimmert, daß die Atrophieform im Gegensatz zur Inaktivitäts- oder senilen Atrophie im Röntgenbilde eine „scheckige" ist, daß sie bei geringem Anlaß auftritt und endlich, daß sie mit der akuten Muskelatrophie und trophischen Hautstörungen zusammen vorkommt. Bei akuter Knochenatrophie ist stets eine Funktionsstörung vorhanden; diese muß aber als etwas Sekundäres betrachtet werden, da die akute Knochenatrophie gleichzeitig mit der Grundkrankheit beginnt und ihr nicht sekundär folgt.

Der nächste Autor, der sich mit dieser Knochenaffektion befaßte, war Kienböck (1901). Dieser betont, daß es sich hier um eine exzentrische Atrophie im Sinne der Anatomen handle: das Volumen des Knochens bleibt unverändert, die Kompakta wird verdünnt und porös durch Erweiterung der Haverskanälchen, die Spongiosa weitmaschig (rarifiziert) durch Verringerung der Zahl der Bälkchen. Für die akute Knochenatrophie ist gegenüber anderen Formen (Altersatrophie, Inaktivitätsatrophie) der meist hohe Grad der Ausbildung charakteristisch. Da die Knochenatrophie nicht nur in der Umgebung des entzündeten Gliedes, sondern auch weitab an anderen Stellen des Gliedes beobachtet wird, hält Kienböck die Zurückführung der Knochenatrophie auf eine fortgepflanzte Entzündung, wie es Sudeck zuerst tat und wie auch die früheren Autoren von einer „Ostitis rarificans" (Volkmann) sprachen, für unwahrscheinlich.

Kienböck weist darauf hin, daß die akute Knochenatrophie in den charakteristischen Merkmalen (Rapidität des Auftretens, Verbreitung auf entfernte Regionen, Hochgradigkeit und Stabilität) mit den von Wolff (1883) studierten Wachstumsstörungen der Extremitätenknochen nach Gelenkerkrankungen und Gelenkresektionen übereinstimme. Wie Wolff aus diesen Eigenschaften und aus der Unabhängigkeit der Wachstumsstörung von der Ruhigstellung der Extremität folgerte, daß nicht Inaktivität die Ursache der Wachstumsstörung sein könne, zumal bei gleicher Gelegenheit in manchen Fällen Wachstumshemmung, in manchen Fällen aber auch Wachstumssteigerung beobachtet wird, sondern daß es sich vielmehr um eine Trophoneurose handle, so sprach sich auch Kienböck für einen nervösen reflektorischen Ursprung der akuten Knochenatrophie aus, für eine Trophoneurose mit konsekutiver Zirkulationsstörung. Wie oben erwähnt, schloß sich Sudeck dieser Meinung Kienböcks an.

Kienböck gibt nun eine genauere Schilderung des Röntgenbildes bei der akuten Knochenatrophie. Er unterscheidet zwei Formen: die fleckige und die reine osteoporotische Form der Knochenatrophie. Die erstere, die zugleich dem akuten Stadium der Krankheit entspricht, ergibt ein verschwommenes Bild des ganzen Knochens, die Struktur ist unscharf und verwaschen. Daneben finden sich lochartige Defekte in der Spongiosa und fleckige Aufhellungen in der Kompakta. Die zweite und zugleich chronische Form entspricht der Beschreibung Sudecks (s. o.). Nach Ausheilung des Grundleidens zeigt sich das Bild der reinen Osteoporose. Beide Formen können isoliert auftreten oder kombiniert sein (subchronisches Stadium, von Ohlmann später als Übergangsform speziell hervorgehoben). An einigen Stellen ist das Strukturbild noch verwaschen und fleckig, an anderen Stellen zeigt sich bereits die reinliche Zeichnung der Osteoporose mit den dünnen und zarten Knochenbälkchen und den scharfen Skelettkonturen, die wie von einer feinen Linie umrissen aussehen. In schwersten Fällen von Osteoporose schwindet die Spongiosa völlig, der Knochen sieht wie Glas aus („Glasknochen" der Röntgenologen).

Kienböck versuchte auch eine Erklärung für das Zustandekommen der fleckigen Form der Knochenatrophie zu geben. Er argumentierte folgendermaßen: Die gelösten Kalksalze bleiben bei dem überstürzten Knochenabbau in den Markräumen liegen, hierdurch wird die Knochenstruktur einerseits verdeckt, anderseits kommt es durch die lokale Anhäufung von Kalksalzen zu Fleckenbildung innerhalb der Spongiosa. Ob auch die Halisterese für die Verschleierung der Knochenstruktur in Betracht kommt, läßt er unentschieden. Diese Argumentation ist, wie bereits Exner hervorhebt, durchaus hypothetisch, da histologische Befunde fehlen.

Nach diesen zwei grundlegenden Arbeiten von Sudeck und Kienböck war das Ziel der folgenden Arbeiten einerseits die Stellungnahme zur Theorie der trophoneurotischen Ätiologie der akuten Knochenatrophie und damit auch zur Berechtigung, die akute (oder Sudecksche) Knochenatrophie als eine besondere Form der Knochenatrophie zu bezeichnen und anderseits kasuistische Beiträge hinsichtlich der primären Noxe, die zu Knochenatrophie führt, zu liefern, und endlich die histologische und chemische Untersuchung von atrophischen Knochen.

Ehe auf die wichtigsten Literaturangaben zur Frage der akuten Knochenatrophie oder Sudeckschen Knochenatrophie eingegangen wird, ist es wohl von Interesse, die Stellungnahme der älteren Schule Billroths zu dieser Frage kennenzulernen.

In der 16. Auflage der allgemeinen chirurgischen Pathologie und Therapie (S. 598, 1906) finden wir folgende Ausführungen:

„Während wir bei der Ätiologie der bisher geschilderten Gruppen chronischer Knochenentzündungen (osteomyelitische, tuberkulöse, luetische und toxische Osteoperiostitiden) die Einwirkung eines lokalen, bazillären oder chemischen Reizes konstatieren können, sind die Ursachen der jetzt zu erörternden Prozesse nicht so klar." „Entwickelt sich im Innern eines kurzen, spongiösen oder in der spongiösen Epiphyse eines langen Röhrenknochens eine diffuse chronische Ostitis mit reichlicher Gefäßneubildung und Infiltration von Wanderzellen, so wird dadurch das Knochengewebe seiner Kalksalze beraubt und allmählich resorbiert werden, während an seine Stelle ein beträchtlich vaskularisiertes, zellreiches Markgewebe tritt. Der Knochen bekommt infolgedessen ein grobmaschiges, sehr poröses Gefüge, zahlreiche Knochenbälkchen der Spongiosa verschwinden, die übrigbleibenden verschmälern sich, die Kortikalis wird von innen her immer mehr verdünnt, ihre Resistenz nimmt ab, der ganze Knochen ist ungemein leicht geworden." Es ist „das Bild eines reinen Knochenschwundes der Spongiosa", einer „rarifizierenden Ostitis" nach Volkmann, einer „Ostitis malacissans" nach Billroth. „Die Knochenkörperchen verhalten sich bei dem ganzen Prozeß vollkommen passiv." „Das durch reichliche Vaskularisation sehr rötliche Mark bleibt fetthaltig, ist aber dichter von jungen Zellen durchsetzt als normal und ähnelt dadurch mehr dem Marke von Kinderknochen. Im weiteren Verlaufe des Prozesses nimmt das Fettgewebe zu; während die Gefäße obliterieren und verschwinden, tritt das Fett in flüssigem Zustande aus den Zellen aus, so daß zuletzt der aufs äußerste erweiterte,

von gelblich-rötlichem, bei Körpertemperatur flüssigem Fett erfüllte Markraum, von einer papierdünnen Kortikalis umgeben, übrigbleibt." – „Am Lebenden ist weder eine Verdickung des Knochens noch eine Infiltration der Weichteile noch sonst eine äußere Veränderung wahrnehmbar." Eine Vereiterung oder Verkäsung des Markgewebes kommt spontan nicht vor. Sie kann aber im Beginn hervorgerufen werden durch Infektion." „Es fehlt jede Knochenauflagerung vom Periost her". „Ob eine wirkliche Knochenregeneration der Substanz eines durchaus osteoporotischen Knochens mit Wiederherstellung seiner normalen Festigkeit vorkommt, ist bis jetzt nicht sicher nachgewiesen."

Bezüglich der Ätiologie dieser Knochenaffektionen bemerkt Billroth, daß diese dunkel sei; er weist hin auf die Osteoporose als Komplikation der tuberkulösen Ostitis, ohne daß die osteoporotischen Knochen in der Nachbarschaft eines tuberkulösen Knochens als tuberkulös betrachtet werden dürften. Bemerkenswert ist der Satz: „Daß Zirkulationsstörungen, namentlich in venösen Stauungen, und andauerndes Ödem die Resorption des Knochengewebes begünstigen, ist leicht verständlich; ihrem Einflusse schreibe ich das nicht seltene Vorkommen der rarifizierenden Ostitis bei jugendlichen Individuen mit Plattfuß zu, die ganz gewöhnlich an venöser Stauung der unteren Extremitäten und träger Zirkulation leiden." „Die Inaktivität kann man jedenfalls nicht immer beschuldigen."

II. Spezieller Teil.

Wir behandeln hier nicht die durch irgendeine primäre Noxe gesetzte lokale Knochenaffektion, wie lokale entzündliche Osteoporose, lokale Knochennekrosen mit folgendem Umbau usw., sondern die vom Lokalherd getrennt auftretenden Osteoporosen in Knochen und Knochenteilen, die durch Gelenke vom primär affizierten Knochen getrennt sind.[1])

Haben die Herde im primär erkrankten Knochen je nach Ätiologie ihre eigene Verlaufsweise und ist, wie so häufig, ein osteoporotisches Stadium zwischengeschaltet zwischen die verschiedenen Stadien, wie Demarkation, Umbau usw., so zeigen die entfernteren Knochen nur das Bild der Osteoporose, die entweder in mehr oder weniger hohem Grade dauernd persistiert oder allmählich wieder eine Restitutio ad integrum erfährt; andere pathologisch-anatomische Zustandsbilder, als eben die Rarifikation, werden nicht beobachtet. Am Primärherd dagegen erfolgen sehr häufig auf ein porotisches Vorstadium periostale und endostale Sklerosen, Demarkierungen, regressive und progressive Veränderungen der verschiedensten Art.

Die pathologisch-anatomische Grundlage sowohl für den Primärherd im Stadium der Rarifikation als auch für die Knochenatrophie im eigentlichen Sinne, d. h. die Atrophie in den benachbarten Knochen, ist unabhängig von der Ätiologie morphologisch identisch. In beiden Fällen handelt es sich um Untergang der Tela ossea durch zelluläre Resorption von seiten der Osteoklasten.

Im Knochen, als Organ betrachtet, entstehen dabei aber verschiedene Zustandsbilder, die röntgenologisch darstellbar sind und in der Literatur unter den Namen akute Knochenatrophie, Inaktivitätsatrophie und senile Knochenatrophie geschildert werden. Es ist Aufgabe der folgenden speziellen Erörterungen, zu untersuchen, ob sich diese einzelnen Formen der Knochenatrophie auch hinsichtlich der formalen Genese und hinsichtlich der Pathogenese unterscheiden, oder ob es sich um bloße Zustandsbilder eines und desselben Prozesses handle, wobei evtl. die röntgenologisch feststellbaren Formen nur durch den Zeitpunkt der Untersuchung und durch die Schwere des Prozesses charakterisiert sind.

---

[1]) Wir benutzen hier die Gelegenheit, dem Direktor der chir. Universitätsklinik Zürich Herrn Prof. Dr. P. Clairmont für die liebenswürdige Überlassung des Materials seiner Klinik und für mannigfache Anregung und Förderung unseren verbindlichsten Dank auszusprechen.

A. Art der primären Noxe der Sudeckschen Knochenatrophie.

Eine gute zahlenmäßige Vorstellung über die verhältnismäßige Frequenz der Knochenatrophie bei den verschiedensten Affektionen der Extremitäten gibt die Tabelle von Herfarth aus der Küttnerschen Klinik. Die Durchsicht von 203 Röntgenplatten mit Knochenatrophie ergab folgende Verteilung hinsichtlich der Ätiologie:

Knochenatrophie nach	Frakturen	33 Fälle
„ „	entzündlichen Erkrankungen	95 „
„ „	Schußverletzungen	33 „
„ „	Nervenverletzungen	5 „
„ „	Weichteiltraumen	20 „
„ „	Erfrierungen und Verbrennungen	5 „
„ bei	Akrodermatitis atrophicans	12 „

Eine zweite Reihe von 117 Fällen von Knochenatrophie ergab, speziell bei entzündlichen Affektionen, folgende Frequenz von Knochenatrophie als Begleiterscheinung:

Knochenatrophie bei	Gelenk- und Knochentuberkulose	in 43 Fällen
„ „	Osteomyelitis	„ 40 „
„ „	entzündlichen Weichteilerkrankungen	„ 20 „
„ „	eiterigen Gelenkaffektionen	„ 10 „
„ „	Periostitis luetica	„ 2 „
„ „	Arthritis gonorrhoica	„ 2 „

Daraus ergibt sich, wie schon Sudeck angab und wie es die alltägliche Erfahrung bestätigt, daß die Knochenatrophie am häufigsten bei entzündlichen Prozessen und hier — wie schon vor der Röntgenära bekannt war — besonders bei Knochen- und Gelenktuberkulosen[1]) auftritt. Sehr ausgesprochen ist ferner, was aus der Tabelle nicht hervorgeht, die Knochenatrophie bei Gonorrhoe der Gelenke, besonders der kleinen Handgelenke (Exner). Recht hohe Grade kann die Knochenatrophie der Hand- und Fußwurzelknochen bei akut entzündlichen Weichteilprozessen und bei Panaritien erreichen. Nur bei Syphilis kommt nach den ausgedehnten Erfahrungen von Hahn und Deyke Pascha die akute Knochenatrophie kaum vor. Sehr deutlich ist ferner die Knochenatrophie bei Osteomyelitiden und bei den chronisch-polyarthritischen Gelenkerkrankungen, dagegen nur gelegentlich bei Arthritis deformans (Volkmann). Als Ursache der Knochenatrophie führt Deyke Pascha noch die Nervenlepra an.

Von Systemerkrankungen führen wir den Morbus Barlow, Osteogenesis imperfecta, die Rachitis, Osteomalacie und die Hungerosteopathie an. Wir reihen hier noch die Knochenatrophie bei diffuser Karzinose (Karzinommetastasen) und das Osteosarkom an.

Knochenatrophie wurde ferner beobachtet bei Erfrierungen und Verbrennungen. Nach Hitschmann und Wachtel kommt es in 80% der Fälle im Anschluß an Erfrierungen (auch solchen 1. Grades) zu Knochenatrophie ohne Unterschied des Grades der Weichteilläsion. Sie stellt sich nach Ablauf von 14—15 Tagen nach der Erfrierung ein und betrifft entweder nur die peripher von der Erfrierungsstelle gelegenen Knochenabschnitte, oder sie erstreckt sich kontinuierlich auch auf die fernerliegenden

[1]) Knochentuberkulose mit reinem extraartikulärem Sitz, bei der also keine Funktionsstörung im Gelenke besteht, bedingt keine Knochenatrophie.

Skeletteile. Sie dauert monatelang, ihr Bestehen ist unabhängig von dem Vorhandensein oder Fehlen von Hautveränderungen. Dubs findet Knochenatrophie auch nach Weichteilverbrennung. Allerdings macht Axhausen auf die experimentellen Arbeiten Ribberts aufmerksam, der nach Erfrierung Knochennekrosen sah. Diese Knochennekrosen erfahren durch den konsekutiven Umbau an sich eine Rarifizierung. Es handelt sich also hier um eine Knochenaffektion sui generis.

Bei Traumen kommt es, wie Lenk ausführt, bei Diaphysenfrakturen selten, bei Metaphysenfrakturen häufiger, bei Epiphysen- und Gelenkbrüchen so gut wie immer zu Knochenatrophie. Der Grad der Knochenatrophie nimmt peripherwärts von der Frakturstelle meist zu. Alle Frakturen, die länger als 3 Wochen vollkommen inaktiv behandelt werden, zeigen Knochenatrophie, während bei allen jenen Fällen, die möglichst frühzeitig die Gelenke der verletzten Extremitäten belasten, die Knochenatrophie ausbleibt. Die passiven Bewegungen allein können die Knochenatrophie nicht aufhalten, auch nicht die Faradisierung der Muskulatur (Exner). Schußfrakturen ohne glatten Wundverlauf sind so gut wie regelmäßig durch Knochenatrophie kompliziert (sekundäre Infektion, Gefäß- und evtl. Nervenschädigungen), wie es besonders Hilgenreiner beschrieben hat. Frakturen mit verzögerter Kallusbildung und Pseudarthrosen führen nach eigenen Erfahrungen ebenfalls außerordentlich häufig zu Knochenatrophie. Beachtenswert ist, daß die Kallusbildung frakturierter atrophischer Knochen nicht gestört ist. Weichteilquetschungen und sonstige Verletzungen ohne entzündliche Komplikationen sollen nach Herfahrt Knochenatrophie bedingen, nach Ohlmann nur dann, wenn sie mit einer Nervenläsion einhergehen.

Knochenatrophie bei Nervenverletzungen und Erkrankungen wurde oft beobachtet. Im Anschluß an die erste Arbeit Sudecks berichtete zuerst Nonne (1901) über radiographisch nachweisbare akute chronische Knochenatrophie bei Nervenerkrankungen. Er fand Knochenatrophie bei schlaffer Lähmung, nicht bei spastischer und auch nicht bei tabetischer Ataxie. Auffallend gering ist die Knochenatrophie bei Lähmungszuständen infolge peripherer Neuritis. Bei einer hysterischen Lähmung, die über ein Jahr bestand, fand sich keine Knochenatrophie, trotzdem die Extremität livide und kalt war. In einem Falle von Heine-Medinscher Erkrankung, die seit 12 Jahren bestand und zu einer totalen Paralyse der oberen Extremitäten mit hochgradigster Muskelatrophie geführt hatte, waren nur die Epiphysen mäßig atrophisch, nicht die Diaphysen. Nonne kommt zu folgendem Schluß: 1. Das Fehlen motorischer Reize allein bedingt nicht Knochenatrophie; 2. periphere Lähmungen allein (z. B. Ulnarislähmung) bedingen keine nennswerte Knochenatrophie; 3. hysterische Lähmungen (also Inaktivität allein) führt ebenfalls zu keiner Knochenatrophie. Letzteren Befund bestätigt auch Cassirer.

Bezüglich der Nervenverletzungen fand Lehmann, daß die Knochenatrophie am häufigsten ist bei Verletzungen des Medianus, Tibialis, Ischiadikus; schon seltener ist sie bei Läsionen des Ulnaris, am geringsten bei solcher des Radialis und Peroneus. Er folgert daraus, daß die Verletzung jener Nerven, die schmerzleitende Fasern führen, Knochenatrophie zur Folge haben können, und stimmt darin mit Fleischhauer und Hoffmann überein, die die stärksten Atrophien bei jenen Nervenläsionen sahen, die von heftigen Schmerzen begleitet waren. In Zusammenhang damit sei darauf hingewiesen, daß nach Müller in den peripheren sensibeln Nerven auch die vegetativen Nerven verlaufen und daß lebhafter körperlicher Schmerz zu einer Änderung in der Innervation des vegetativen Systems führt auf dem Reflexwege über das Rückenmark, so daß eine Verletzung dieser vegetativen Fasern vasomotorische Störungen zur Folge haben können (Gefäßmuskellähmung nach Reznicek).

Bei Hautkrankheiten fand Herfarth Knochenatrophie in der Mehrzahl der Fälle von Acrodermatitis atrophicans und Sklerodermie.

Überblicken wir alle die angeführten primären Noxen, die zu Knochenatrophie resp. Knochenrarifikation führen, so muß man wohl sagen, daß die Knochenrarifikation mehr als Krankheitssymptom denn als selbständige Krankheit zu werten ist. Es zweifelt ja niemand daran, daß die Osteoporose bei Systemerkrankungen, wie Morbus Barlow, nicht die Grundkrankheit selber ist, ebensowenig wie osteoporotische Zustandsbilder bei Rachitis und Osteomalacie oder bei Osteomyelitis oder diffuser Karzinose des Knochens, bei Karzinommetastasierung usw. Mannigfache Ursachen liefern das Bild der Knochenrarifikation; war sie vor der Röntgenära eigentlich nur bei der Knochen- und Gelenktuberkulose gelegentlich der Amputationen und Resektionen bekannt geworden, so zeigte uns das Röntgenbild die außerordentliche Häufigkeit der Knochenatrophie auch bei allen möglichen anderen Knochen- und Weichteilaffektionen als Begleiterscheinung, seitdem Sudeck (1900) die röntgenologischen Merkmale der Knochenatrophie festgelegt hatte. Daß man bei der Aufdringlichkeit des Röntgenbildes Gefahr läuft, aus der Knochenatrophie ein eigenes Krankheitsbild zu machen, ist wohl begreiflich.

B. „Latenzzeit" der Knochenatrophie im Röntgenbild.

In der ersten Zeit der Röntgenära mochte es manchen überraschen, daß die Knochenatrophie im Röntgenbilde erst nach einer gewissen „Latenzzeit" nach Beginn der primären Noxe sichtbar wird, ohne daß sich das im klinischen Bilde äußert. Am lehrreichsten und am klarsten zeigt das die Osteomyelitis. Trotz schwerstem Krankheitsbilde zeigt die Röntgenaufnahme im Stadium der akuten Markphlegmone einen durchaus negativen Befund. Erst in der 3. Woche werden röntgenologisch schwere Knochenveränderungen sichtbar. Es bedarf eben einer gewissen Zeit auch bei den akutesten Knochenprozessen, um durch Summationseffekt der mikroskopisch zellulären Arbeit makroskopische Veränderungen an der passiv sich verhaltenden Tela ossea zu setzen. Daß der Zustand mikroskopisch oder durch Knochenwägung früher erkannt werden kann, hat mehr akademisches Interesse; es sagt uns eben, daß die Latenzzeit nur für die Röntgendarstellbarkeit der Knochenatrophie, nicht aber tatsächlich besteht.

Sudeck hat auf Grund der verschiedenen Latenzzeiten (kurze Latenzzeit bei akuter Knochenatrophie, lange bei Inaktivitätsatrophie) und auf Grund des fleckigen und osteoporotischen Stadiums der Knochenatrophie im Röntgenbilde eine besondere ätiologische Unterteilung der Knochenatrophie vorgenommen: Die akute neurotrophische Knochenatrophie und die mehr chronische Inaktivitätsatrophie. Die senile Atrophie ließe sich dann der chronischen Atrophie anschließen. Seit den Experimenten von Brandes ist man von dieser Überwertung der zeitlichen Latenz im Röntgenbilde zurückgekommen, desgleichen von der verschiedenen Bewertung des fleckigen oder osteoporotischen Bildes. Eine intensiv wirkende, primäre Noxe führt eben zu rapidem und ungleichmäßigem Auftreten der Knochenatrophie, also zu kurzer Latenzzeit und fleckigem Strukturbilde; eine weniger intensiv wirkende Noxe bedingt eine allmählich und mehr gleichmäßig einsetzende osteoporotische Knochenatrophie. Daß das fleckige Stadium allmählich ins osteoporotische übergeht, ist sonach verständlich.

Die Latenzzeit ist demnach variabel: ihre Dauer schwankt zwischen 2 Wochen und 2 Monaten. Die Minimalzeit beträgt etwa 3 Wochen bei mittelstarken Knochen, bei kleinen Knochen wurde beginnende Knochenatrophie schon nach 2 Wochen beobachtet. Wir dürfen diese Zeiten, die tatsächlich beobachtet wurden, als Minimalzeiten

betrachten, da wir dieselben Latenzzeiten beim akutesten Prozeß (bei der osteomyelitischen Markphlegmone) finden. Als mittleres Maß können wir bei akuten Prozessen 5 Wochen annehmen. Dieses Zeitmaß ist nur ein Näherungswert; je nach der Aufnahmetechnik und je nachdem, ob man eine eben erkennbare Atrophie auf Grund übrigens nicht immer sehr zuverlässiger Vergleichsaufnahmen, oder ob man mehr ausgesprochene Formen für den Beginn der Knochenatrophie heranzieht, fallen die Zeiten natürlich etwas verschieden aus. Auf Grund der verschiedenen Literaturangaben lassen sich obige Zahlen rechtfertigen. Die Latenzzeiten bei der akuten Knochenatrophie betrugen nach Sudeck $4^1/_2$ resp. 6—8 Wochen, nach Lenk 25 Tage, nach Finkelnburg 4—5 Wochen, nach Hitschmann-Wachtel 14—25 Tage, nach Hilgenreiner 2—3 Wochen, nach Ohlmann 6—8 Wochen, nach Herfarth 2—4 Wochen.

Das fleckige Stadium kann monatelang dauern (nach Herfarth 2—3 Monate, nach Hitschmann-Wachtel bis zu 1 Jahr). Für die Dauer des chronischen Stadiums lassen sich keine Zahlen geben, da der Zustand nicht selten dauernd bestehen bleibt.

C. Prädilektionsstellen.

Als solche sind, worauf Sudeck schon aufmerksam machte, Hände und Füße einschließlich der knöchernen Gelenkkörper der distalen Vorderarm- resp. Unterschenkelknochen durch die alltägliche Erfahrung bekannt. Hilgenreiner betont, daß im allgemeinen stärker bewegte Teile mehr zu Knochenatrophie disponieren als weniger bewegte, Hände also mehr als Füße, Vorderarme mehr als Unterschenkel, Radius mehr als Ulna. Im allgemeinen darf man sagen, daß die Extremitätenenden ausgesprochene Prädilektionsstellen darstellen. Eine zweite, wenn auch recht seltene bevorzugte Lokalisation der Knochenatrophie ist die Wirbelsäule (Kümmelsche Spondylitis). Geradezu gesetzmäßig ist das erste Auftreten der Knochenatrophie an den spongiösen Teilen der kleinen und großen Schaftknochen, und daher auch besonders ausgesprochen an jenen Knochen, die an sich rein spongiös gebaut sind (Karpalia, Tarsalia, Wirbel). An den knöchernen Gelenkkörpern zeigt sich die Knochenatrophie an den zarter gefügten Gelenkköpfen früher als an den Pfannenteilen des Gelenkes.

Das schärfere Hervortreten von Resten der verkalkten Epiphysenfuge oder von Wachstumslinien im Schaftknochen bei der Knochenatrophie wird verständlich durch die Angabe Köllikers, daß es sich hier vielfach um Reste verkalkten Knorpelgewebes handelt. Dieses Knorpelgewebe ist wenig vaskularisiert und liefert daher weniger Angriffspunkte für die die Gefäße begleitenden und ihnen entstammenden Osteoklasten.

Dieselbe Lokalisation der Knochenatrophie finden wir auch bei Frakturen. Auch hier atrophiert das periphere Fragment und ganz besondere die periphere Epiphyse. Bei Doppelfrakturen fand Hilgenreiner eine stufenweise, von Fragment zu Fragment zunehmende Knochenatrophie. Die gleiche Lokalisation zeigen auch die Knochenatrophien nach Nervenverletzungen (Lehmann, Geinitz). Die Knochenatrophie beschränkt sich nach diesen Autoren durchaus nicht, wie Reznicek und Maliva behaupten, auf das Versorgungsgebiet des betreffenden Nerven, sondern erstreckt sich meist auf alle Knochen im distalen Abschnitte der Extremitäten. Die gleiche Lokalisation an den spongiösen Gelenkenden beobachteten Winternitz und Herfarth bei Erfrierungen und Verbrennungen. Bei der Acrodermatitis atrophicans beobachtete Herfarth, daß nicht nur die Knochen, die von sklerodermatischer Haut bedeckt sind, sondern auch solche, die von normaler Haut gedeckt werden, atrophieren, wobei es sich stets um peripher gelegene Knochen handelt.

Die einzelnen Abschnitte des Röhrenknochens verhalten sich demnach gegen die akute Knochenatrophie, wenigstens in den ersten Stadien der Knochenaffektion, verschieden. Immer sind es die spongiösen Abschnitte (Epiphysen, Metaphysen), die zuerst betroffen werden; die kleineren Knochen, die nur aus Spongiosa bestehen, verhalten sich wie die Epiphysen und Metaphysen der Röhrenknochen. Die Erklärung hierfür ist gegeben durch die Gefäßversorgung des Knochens; weiter unten (s. unter G) werden wir ausführen, daß Zirkulationsstörungen im Knocheninnern einen ätiologischen Hauptfaktor für das Zustandekommen der akuten Knochenatrophie darstellen. Wenn das richtig ist, so muß in einem Skelettstück der am meisten vaskularisierte Abschnitt desselben auch die intensivste Rarifikation zeigen und umgekehrt. In der Tat hat nun Langer in seiner berühmten Arbeit „Über das Gefäßsystem der Röhrenknochen" nachgewiesen, daß die Kompakta der Knochen „an und für sich schon mit wenigen Gefäßen ausgestattet ist und daß sich auch das Blut in denselben in viel weniger feine Strömchen verteilt: ersteres ist eine Eigentümlichkeit, welche das Knochengewebe als solches an das fibröse Gewebe reiht". Dagegen ist das Mark und die Spongiosa der Gefäße ungleich reicher an Gefäßen, wie aus den Langerschen Figuren ersichtlich ist. „Er findet eine Konzentrierung der akzessorischen größeren Ernährungsgefäße (Canaliculi nutritii access.) um die Epiphysenfugen und die äußeren Flächen der Gelenkkörper (Epiphysen und Metaphysen der wachsenden und des erwachsenen Knochens)." „Anlangend die Anordnung der Gefäße der Spongiosa ist hervorzuheben, daß sie sich der Architektur möglichst anschließt. Nur an der Stelle, wo ehedem die Epiphysenfuge bestand und wo die Längsbalken durch einen dicken Querbalken wie unterbrochen erscheinen, trifft man Arterien mit daran angeschlossenen einfachen Venenstämmchen, welche quer das Trabekulargewebe durchsetzen und mit auf- und absteigenden Zweigen in Verbindung treten ... daneben aber auch noch nach der Fläche (der Fugenplatte) Äste treiben." „Ist einmal die Verbindung der Epiphyse mit der Diaphyse durch Verknöcherung des Fugenknorpels hergestellt, so sieht man, solange die kompakte Fugenlamelle besteht, dieselbe nur von mäßig großen Gefäßen durchsetzt, welche die Gefäßverbindung beider Knochenstücke vermitteln" (S. 5, 15, 30, 37).

D. Bemerkungen zur Klinik der Knochenatrophie.

Die auffallendsten und häufigsten Begleiterscheinungen der akuten Knochenatrophie sind 1. ausgesprochene Funktionsstörung der befallenen Gelenke, 2. Zyanose und Ödeme im Bereiche der nicht muskelbedeckten atrophischen Knochen und 3. die lokale Schmerzhaftigkeit der atrophischen Knochen. Die versteiften Gelenke zeigen einen federnden Widerstand, sie sind ungleich schwerer zu mobilisieren als einfach ruhiggestellte und behalten auf die Dauer eine gewisse Bewegungseinschränkung (Sudeck). Nicht mehr so regelmäßig werden Muskelatrophien beobachtet. Entgegen Sudeck fand Cassirer normale elektrische Erregbarkeit der atrophischen Muskeln. Letzterer Autor führt des weiteren aus, daß die Subkutis und das interstitielle Muskelbindegewebe mehr von der Atrophie betroffen werde als die Muskeln selbst. Ohlmann fand dementsprechend mikroskopisch keine Veränderung an den Muskelfasern. Seltener sind auch schwerere Hautstörungen, wie Glanzhaut, rissige oder sich verfärbende Nägel, Nagelbettulzeration.

Ein Parallelismus zwischen Knochenatrophie, Hautveränderung und Muskelatrophie besteht nicht. Trotz Muskelatrophie kann die Knochenatrophie ausbleiben (Nonne), anderseits kann energische Massage und Faradisation die Muskelatrophie aufhalten, nicht aber die Knochenatrophie (Exner). Bekannt ist die schwere Knochenatrophie

bei Tuberkulose der Knochen und Gelenke, ohne daß die Haut hierbei schwerere Veränderungen erkennen läßt.

Eine verzögerte Kallusbildung ist bei atrophischen Knochen resp. atrophierenden Knochen nach Bier nicht zu konstatieren. Knochenfrakturen atrophischer Knochen wurden nur sehr selten beobachtet (König, Herfarth, Ehringhaus, Hagemann). Über das Vorkommen „schleichender Frakturen" resp. „Umbauzonen" (Looser) bei der akuten Knochenatrophie ist nichts bekannt.

Prognostisch zeigen leichtere Formen von Knochenatrophie nach Abklingen der primären Noxe gute Heilungstendenz. Schwerere Formen persistieren auch nach Ablauf der primären Schädlichkeit lange oder bleiben dauernd bestehen, wobei es zur Bildung abnorm dicker Spongiosabälkchen bei sehr großen Markräumen kommen kann („hypertrophierende Inaktivitätsatrophie" nach Roux).

Als therapeutische Maßnahmen wurden von Sudeck bald einsetzende passive Bewegungen empfohlen, wenngleich er darauf aufmerksam macht, daß die mediko-mechanische Behandlung gelegentlich verschlimmernd wirkt. Die Biersche Schule versucht zwecks besserer Durchblutung Stauung, Massage und Bäder, Billroth empfahl Igni-punktur. Der Versuch einer Röntgenbestrahlung schlug in einem eigenen Falle fehl.

E. Pathologische Anatomie.

1. Makroskopisch zeigt der skelettierte atrophische Knochen das gleiche Bild wie der senil osteoporotische. Die Knochen sind leichter, der Gewichtsverlust beträgt nach Exner 7—67%, sie sind schneidbar, die Kortikalis läßt sich leicht eindrücken. Die Rinde ist porosiert, die Spongiosa rarifiziert infolge Dickenabnahme und teilweisem Schwunde der Knochenbälkchen. Hierdurch werden die Markräume weitmaschiger. Maliva fand bei Lupenzählung im ersten Stadium die Bälkchenzahl gleich der der gesunden Seite, hingegen zeigte die kranke Seite Verschmälerung der Bälkchen, die durchscheinender waren als die normalen; eine Verminderung der Zahl findet er erst bei längerem Bestehen der Atrophie.

Genauer schildert Roux den Hergang der Knochenatrophie. Nach ihm wird bei der einfachen Inaktivitätsatrophie die tubulöse Spongiosa zur lamellären bzw. trabekulären Spongiosa durch Schwund umgebildet. Unter stetiger Abnahme ihrer Dicke können die statischen Elemente völlig schwinden, die dadurch sich vergrößernden Zwischenräume werden mit Fettmark ausgefüllt. Die Gefäßkanäle, besonders der Epiphysen, sind ebenfalls ausgeweitet. Die ganze Struktur unterscheidet sich von der des normalen Knochens nur durch die Rarifikation. Hierbei behalten die Knochen normale Form (exzentrische Atrophie). Es können aber auch besonders beanspruchte Trajektorensysteme beim atrophischen Knochen hypertrophieren, und es kommt dann zur Bildung abnorm dicker Spongiosazüge bei sehr großen Maschenräumen zwischen den Bälkchen (hypertrophierende Inaktivitätsatrophie). Nach Roux und Jores ist die Architektonik des Knochens eine verschiedene, je nachdem, ob der betreffende Knochen mehr auf Stoß oder mehr auf ruhende Druckspannung beansprucht wird. Im ersteren Falle sind die Bälkchen schmäler, dafür aber die Maschenräume zwischen ihnen enger, im anderen Falle umgekehrt. Da der atrophische Knochen normale Architektonik aufweist, so ist an den großen, mehr auf konstanten Druck beanspruchten Knochen (z. B. Femur), mehr die grobmaschige und evtl. hypertrophierende, an kleinen, mehr auf Stoß beanspruchten Knochen (z. B. Tarsalia), mehr die engmaschige Struktur zu erwarten. Dies stimmt mit der Beobachtung Sudecks am Femur (stärkeres Hervortreten der Haupttrajektoren) und der Exners und Malivas an den Tarsalia

(zarte Bälkchen bei relativ engen Maschen) überein. Exner sprach in seinen Fällen ohne zureichenden Grund von einer Neubildung der Knochenbälkchen (s. Schema des Hergangs der Knochenatrophie, Abb. 1).

2. Histologisch ist nach Looser (mündliche Mitteilung) charakteristisch: das Zusammenrücken der Kittlinien. Dies kommt zustande durch den den Knochenanbau überholenden Knochenabbau. Das aus 5 und mehr Lamellen bestehende Haverssche Osteon erfährt eine Reduktion der Lamellenzahl durch den Abbau, der hinter dem

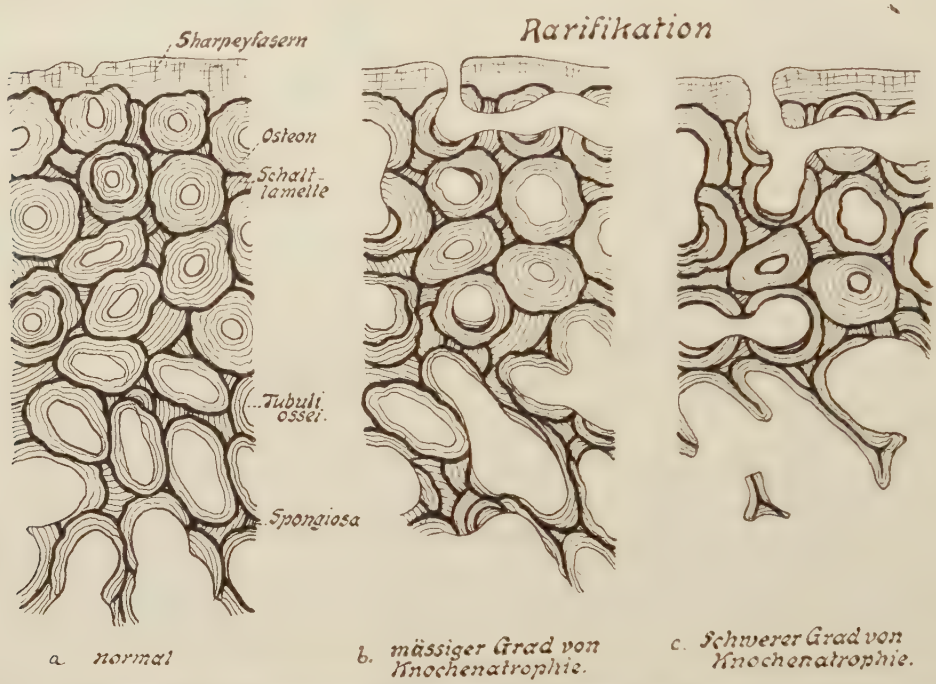


Abb. 1. Schemata der Knochenatrophie, Kittlinien durch dicke Linien bezeichnet. a) Querschnittschema eines normalen Röhrenknochens mit äußerer umfassender Generallamelle, mit Osteonen, Schaltlamellen, Tubuli ossei und einzelnen Spongiosabälkchen. b) Mäßiger Grad von Knochenatrophie mit Ausweitung der Havers'schen Räume und eines Canaliculus nutricius. Sichelförmige glättende Appositionen. Verschmälerung resp. Schwund der Spongiosabälkchen. Einzelne Osteone sind intakt. c) Schwererer Grad von Knochenatrophie. Gleichsinnige, weiter fortgeschrittene Veränderungen wie in b. Das Zusammenrücken der Kittlinien wird deutlicher sichtbar.

Abbau zurückbleibende Knochenanbau ersetzt dementsprechend nur teilweise diesen Verlust. Da die verschiedenen Lamellengenerationen durch Kittlinien sich voneinander trennen, muß es daher zu einem Zusammenrücken derselben kommen. Ferner ist für den atrophischen Knochen der wirre Verlauf der Kittlinien charakteristisch. Die Tela ossea ist aus lauter Osteonfragmenten zusammengekittet, die durch glättende, aus nur wenig Lamellen bestehende Neuanlagerungen als Wandauskleidung um Haverssche Kanäle neu formierte weiträumige Osteone erhält. Diese Neuanlagerungen sind mit Osteoblastensäumen besetzt. An einzelnen Stellen sieht man den Beginn dieser Osteonbildung in Form sichelförmiger Auflagerungen, an anderen Stellen den wieder erfolgenden lakunären Abbau des neugebildeten Knochens. Die Lakunen enthalten entweder die typischen riesenzelligen Osteoklasten, häufiger aber schmale, langgestreckte einkernige Osteoklasten — in nur ganz flachen Lakunen —, die wie Bindegewebszellen

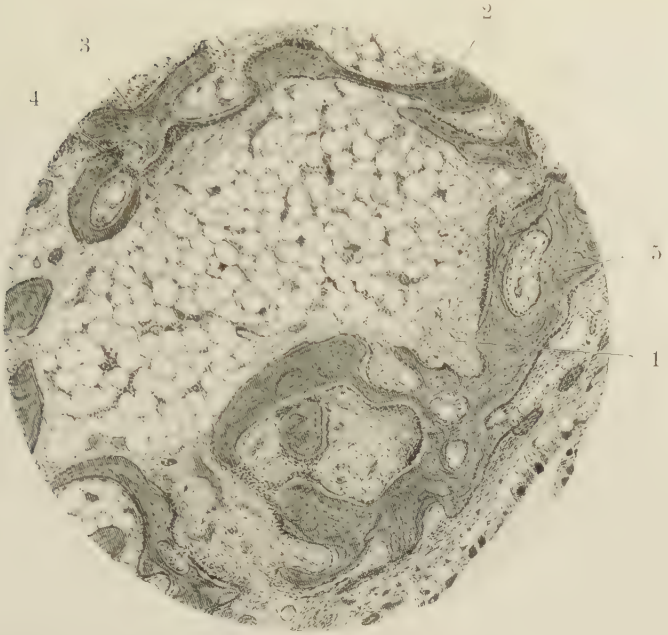


Abb. 2. Präparat einer porotischen Rippe bei schwacher Vergrößerung. 1 = spindelzelliges hyperplastisches und hyperämisches Mark; 2 = Fettmark; 3 = Appositionssäume mit Osteoblasten; 4 = spindelzellige Osteoklasten, 5 = zusammenrückende Kittlinien.

Abb. 3. Präparat eines porotischen Metakarpus bei stärkerer Vergrößerung. Schnitt aus der verdünnten und porosierten Kompakta. 1 = hyperplastisches und hyperämisches Mark; 2 = Appositionssäume mit Osteoblasten; 3 = spindelzellige an einzelnen Stellen auch riesenzellige Osteoklasten; 4 = zusammenrückende Kittlinien.

aussehen. Letztere Osteoklastenformen sieht man nach Pommer gerade bei atrophischen Knochen häufig.

Das Knochenmark ist in unmittelbarer Umgebung der Tela ossea, also in der Zone des Knochenumbaues, zell- und gefäßreich und fettarm (hyperplasierend) und sieht wegen seines Reichtums an spindeligen Zellen wie junges Bindegewebe aus. Weiter ab von der Tela ossea findet sich Fettmark. Die äußere Kortikalisschicht ist entweder glatt oder durch Erweiterung der durchsetzenden Gefäßkanäle zerklüftet. Periostale Auflagerungen sieht man nicht (s. Abb. 2 und 3). Ähnlich schildert auch Axhausen den Vorgang bei der Knochenatrophie. Resorptive Defekte werden durch Apposition nur unvollkommen gedeckt, es entstehen große runde oder elliptische Räume in der Kompakta, die in die umgebenden regelmäßig gebildeten Haverssysteme hereinschneiden und mit schmalen, konzentrischen Randsäumen ausgekleidet sind. Über die Bildung eines Wandsaumes kommt die Apposition nicht hinaus. Übereinstimmend lauten die Literaturangaben über die Veränderungen des Markes bei der Knochenatrophie. So beschreibt Waldeyer die Markhyperplasie bei exzentrisch atrophierenden Knochen, Billroth das zellreiche, relativ fettarme Mark in den frühen Stadien und ausgesprochene Lipomasie in den Spätstadien. Ohlmann sah gallertiges Mark, Herfarth beim Kalkaneus bereits im fleckigen Stadium der Atrophie Fettmark und bei einem experimentell atrophischen Kalkaneus ein lockeres hyperämisches „mesenchymales" Markgewebe. An der Tela ossea wird Osteoporose durch Osteoklasten angegeben. Ausgesprochene Osteoidbildung, wie bei der Osteomalacie und Rachitis, wurde nicht beobachtet. Über degenerative Wandveränderungen der Markgefäße wird nirgends berichtet.

Die histologische Untersuchung bezieht sich fast durchwegs auf chronische Formen der Knochenatrophie. Dies ist auch bei unseren beiden histologischen Präparaten der Fall, die uns freundlichst von Herrn Dozent Dr. Looser überlassen wurden. Aber auch der fleckig-atrophische Knochen ergibt nach Herfarth den gleichen histologischen Befund sowohl am Knochenmark wie an der Tela ossea. Es sei demnach mit Herfarth schon hier betont, daß das histologische Bild der Knochenatrophie die Verschiedenheit der röntgenologischen Strukturbilder der akuten fleckigen Knochenatrophie von der chronisch porotischen Form nicht erklärt. „Halisterese" oder Osteoidbildung darf zur Erklärung nicht herangezogen werden, da dies den histologischen Tatsachen widerspricht, ganz abgesehen davon, daß von maßgebender Seite (Pommer, Looser) der Begriff Halisterese überhaupt abgelehnt wird.

3. Von den chemischen Analysen des atrophischen Knochens führen wir die von Exner an. Sie ergaben annähernd das gleiche Verhältnis der anorganischen zur organischen Substanz wie beim normalen Knochen. Er schließt daraus, daß eine „nennenswerte Halisterese" bei diesem Knochenprozeß nicht in Frage kommt.

4. Da man in letzter Zeit auf die Beschaffenheit des Knochenmarkes bei den Umbauvorgängen des Knochens mehr achtet als früher, und da man für die Entstehung der Knochenatrophie Zirkulationsstörungen im Knocheninnern anschuldigt, so dürfte es nicht überflüssig erscheinen, auf zwei alte Beobachtungen des Anatomen Ponfick aufmerksam zu machen. In Virchows Archiv 56, S. 539 führt der Autor aus, daß selbst ein vollständiger thrombotischer Verschluß der Schenkelvene und ihrer gröberen Äste sich nur in vereinzelten Fällen bis auf die Vena nutricia des Femurs und der Tibia fortsetzt, und daß auch dann infolge der vielen Kollateralen das Knochenmark nur in geringem Maße in Mitleidenschaft gezogen wird: dunkelrote Färbung des Markes in der Umgebung des Foramen nutritium, gegen die Peripherie hin abnehmend. Ebenso führt auch die Embolie nur selten zu sichtbarer Markveränderung. In einem Falle

von verstopfter Arteria nutritia der Tibia fand Ponfick einen auf das nächste Gebiet der verstopften Arteria nutritia beschränkten taubeneigroßen Herd, der sich durch seine schmutzig grauweiße Farbe und mattes, trockenes Aussehen von dem umgebenden Fettmark abgrenzte (mikroskopisch Nekrose). Dabei fand sich noch ein nekrotisches, sich sequestrierendes Knochenstück der Tibia.

Fassen wir den anatomischen Befund bei der Knochenatrophie zusammen: Es handelt sich um eine exzentrische Atrophie, also mit Wahrung der Form und Wahrung der groben Architektonik. Die Kortikalis ist verdünnt, spongiosiert, die Spongiosabälkchen ebenfalls verdünnt, mit oder ohne Reduzierung ihrer Zahl. Einzelne Spongiosazüge können hypertrophieren. In jedem Falle sind die Markräume ausgeweitet, das Mark zeigt in nächster Umgebung der Tela ossea den Charakter des hyperplasierenden Markes, sonst den des Fettmarkes, in marantischen Fällen infolge Fettschwundes den Typus des Gallertmarkes. Wenngleich der Knochenabbau durchaus im Vordergrunde steht, finden sich dennoch an vielen Stellen Zeichen des Knochenanbaues. Die osteoplastische Fähigkeit des Markgewebes ist also auch in atrophischen Knochen nicht erloschen. Keine periostalen Auflagerungen, keine „Halisterese", keine osteoiden Säume. Der Gelenkknorpel bleibt intakt. Der histologische Befund bei der Knochenatrophie spricht demnach für eine Bilanzstörung zwischen zellulärem Knochenanbau und zellulärem Knochenabbau. Der Anbau erfolgt nur durch Osteoblastentätigkeit, der Abbau nur durch Osteoklastentätigkeit, nicht durch Halisterese oder perforierende Kanäle (Axhausen, Pommer-Müller, Meyer).

F. Experimentelle Arbeiten.

1. Nervendurchschneidung. Kapsammer kam nach Ischiadikusdurchschneidung zu keinem eindeutigen Resultat. Immerhin findet er oft Hyperämie des Markes. Schiff fand schon wenige Tage nach Durchschneidung aller durch eine Extremität gehenden Nerven eine Hyperämie des Markes in den betreffenden Knochen, bedingt durch Gefäßdilatation, 3—6 Monate später exzentrische Knochenatrophie. (Die hierbei vorkommenden Periostverdickungen werden von Kapsammer auf traumatische Schädigungen zurückgeführt.) Durchschneidung des motorischen Nerven des Unterkiefers einer Seite hatte Rarifikation der betreffenden Unterkieferhälfte zur Folge. Grey und Carr wollen gefunden haben, daß Vernichtung der sensiblen Fasern nicht direkt zur Atrophie führt, wohl aber zur Zerstörung der motorischen Fasern. Lapinsky und Lewaschew fanden nach Einnähen gesäuerter Läppchen in den Ischiadikus zwecks Erzeugung einer Neuritis nach 6—8 Wochen rasches Zugrundegehen der in den Gefäßwänden verlaufenden Vasomotorenfasern und Zugrundegehen der Gefäßmuskulatur. Hierdurch verlieren die Gefäße ihre Elastizität, sie sind verlängert und geschlängelt und der Blutumlauf verlangsamt sich. Lapinsky fand das gleiche auch bei Neuritis des Menschen.

Eigene Untersuchungen sowohl an erwachsenen wie auch an jugendlichen Kaninchen haben zu einem anderen Resultat geführt. Die Durchschneidung und Resektion des N. ischiadicus auf eine längere Strecke führt wohl zu schwerem Mal perforant du pied, es tritt aber bei erwachsenen Tieren keine Knochenatrophie auf. Bei jugendlichen Tieren wird auch das Längenwachstum und die Reihenfolge der Ossifikationen und der Zeitpunkt der Ossifikationen nicht verändert. Wenn wir die Tiere in vivo beobachten, sehen wir, daß sie auf ihrem gelähmten Beine hocken, dasselbe nachziehen, kurz und gut jedenfalls immer gebrauchen. Von einem trophischen Einfluß der Nervenfasern im

N. ischiadicus kann also keine Rede sein, und zwar weder in dem Sinne, daß im N. ischiadicus zentrifugale, eigentliche trophische Nerven verlaufen würden, noch in dem Sinne, daß zentripetale Fasern reflektorisch die Trophik der Knochen regulieren würden.

Bei anderen Tieren haben wir den Bauchsympathikus der einen Seite exstirpiert in einer Ausdehnung von L. III inkl. bis S. I inkl. (vgl. Schinz und Slotopolsky) anläßlich experimenteller Untersuchungen über den Hoden. Auch hier war nie eine Knochenatrophie auf der Seite des exstirpierten Sympathikus vorhanden. Es konnten also auch im Bauchsympathikus von uns keine trophischen Zentren oder trophische Leitungsbahnen festgestellt werden. Die Extremitäten der Tiere waren natürlich nicht gelähmt. Die Differenz mit anderen Autoren glauben wir darauf zurückführen zu dürfen, daß unsere Experimente rein waren, währenddem bei einem unreinen Experiment (vgl. später) konsekutive oder gleichzeitige Zirkulationsstörungen bei mehr oder minder hochgradiger Ruhigstellung mitspielen und für das Auftreten oder Nichtauftreten der Knochenatrophie maßgebend sind.

Durch unsere Versuche scheint einwandfrei bewiesen, daß bei Nervendurchschneidung keine röntgenologisch nachweisbare Knochenatrophie entsteht, mit anderen Worten also keine bedeutende Atrophie. Daß bei Gewichtsbestimmung und quantitativer mikroskopischer Analyse vielleicht doch der Nachweis einer geringgradigen Atrophie gelingt, wollen wir nicht bestreiten, da wir einerseits unsere Tiere mit dieser Methode nicht untersucht haben, und anderseits Nasse nach Nervendurchschneidung einen Gewichtsverlust von etwa 13% fand.

Gleichzeitige Nervendurchschneidung und Unterbindung der Art. femoralis führte ebenfalls zu keiner Knochenatrophie. Der Kollateralkreislauf in der ganzen Kaninchenextremität ist so ausgezeichnet, daß es überhaupt nur bei ganz hoher Unterbindung der Art. femoralis im Becken gelingt, Kreislaufinsuffizienz und damit Extremitätennekrosen zu erzeugen.

2. Ruhigstellung durch Tenotomie und Verbände. Brandes fand nach Durchschneidung der Achillessehne beim Kaninchen an Calcaneus ebenso wie bei Eingipsung des Hinterbeines bei einem Kontrolltier Knochenatrophie. Die Atrophie war in beiden Fällen schon nach 3 Wochen röntgenologisch nachweisbar, und der Autor schließt daraus in beiden Fällen auf Inaktivitätsatrophie. Lehmann exzidierte bei einem Kaninchen ein Stück aus der Achillessehne, bei einem Kontrolltier durchtrennte er die Sehne und nähte sie sofort wieder. In beiden Fällen kam es zu Atrophie des Kalkaneus. Er folgert daraus eine zur Atrophie führende Vasomotorenstörung infolge quantitativer Änderung der Blutzufuhr. Herfarth legte beim Kaninchen die Achillessehne frei und resezierte das peritendinöse Gewebe auf eine Strecke von $^3/_4$ cm, analog der Sympathektomie der Arterien. Die Kaninchen schonten die Extremitäten nicht, und dennoch kam es zu Knochenatrophie. Auch hier werden vasomotorische Störungen als Ursache der Atrophie angegeben. Baastrup experimentierte ebenfalls an Kaninchen. Bei einer Reihe legte er am Hinterbein ruhigstellende Verbände an, bei einer zweiten Reihe setzte er Frakturen, die mit Verbänden behandelt wurden, in einer dritten Reihe machte er die Tenotomie der Achillessehne. Die Knochen des geschädigten Beines wurden röntgenologisch untersucht, gewogen und auf Zugfestigkeit geprüft. In allen Fällen kam es zu Knochenatrophie. Bemerkenswerterweise war in einer Reihe von Fällen der Gewichtsverlust der Knochen nach gleichem Zeitraume (9 Wochen) annähernd der gleiche (11 bis 14%), unabhängig von der primären Schädigung (Verband, Fraktur, Tenotomie). Dabei verweist der Autor auf die Zahlen von Nasse, der bei Nervendurchschneidung ebenfalls einen Gewichtsverlust der Knochen von etwa 13% fand. Bemerkenswert ist ferner, daß die Rarifikation im Röntgenbilde bei einem Gewichtsverluste von 10%

noch kaum sichtbar wird. Die Gewichtsbestimmung ist ebenso wie die Bestimmung der Zugfestigkeit der atrophischen Knochen genauer als das Röntgenbild. Das heißt also, daß mäßige Grade von Knochenatrophie dem Röntgennachweis leicht entgehen können. Erst Gewichtsverluste, die größer sind als 10%, werden im Röntgenbilde sichtbar.

Die Versuche durch Ruhigstellung (Tenotomie, Eingipsen usw.) Knochenatrophie experimentell zu erzeugen, sind also positiv ausgefallen. Einen eindeutigen Schluß auf die primäre Ursache der Knochenatrophie lassen sie aber nicht ziehen, da immer, bei jeder Ruhigstellung, eine Zirkulationsstörung eintreten muß (vgl. Kapitel Ätiologie). Das gilt auch für die funktionelle Ausschaltung durch die operative Verlagerung einer ganzen Extremität unter die Haut bzw. die Muskulatur des Rumpfes (W. Müller).

3. Unterbindung der Arteria nutritia. Eigene Versuche haben die Resultate von Latarjet und Herfarth bestätigt, daß die Unterbindung der Arteria nutritia zu keiner Störung im betreffenden Knochen führt. Es tritt weder eine Atrophie (eigene Beobachtungen, Herfarth) noch eine Änderung des Längenwachstums bei jugendlichen Individuen (Latarjet) auf. Dies war nach den oben mitgeteilten Befunden von Ponfick auch gar nicht zu erwarten. Wenn man allerdings die Arteria nutritia nicht unterbindet und durchtrennt, sondern wenn man in dieselbe eine feine Emulsion hineinspritzt, so treten wegen der Verstopfung des ganzen Kapillarsystems im Knochen schwere Ernährungsstörungen im Knochen auf, wenigstens im Experiment. Dies ist ja einleuchtend. Sonst genügt aber der sofort einsetzende Kollateralkreislauf vollständig, um die Störung an einem Punkte des Gefäßsystemes zu kompensieren. Auch bei Resektion eines größeren Stückes der Arteria femoralis, welche im Prinzip der bei der Kaninchenfemoralis nicht ausführbaren periarteriellen Sympathektomie entspricht, trat keine Knochenatrophie auf. Es können also auch im sympathischen Geflecht der Arterien keine für den Knochenhaushalt maßgebenden trophischen Zentren oder trophischen Leitungen verlaufen.

G. Ätiologie.

Wie betont, nahm Sudeck in seiner ersten Arbeit eine entzündliche Reizung in der Nachbarschaft des Knochenherdes an, die zu Knochenatrophie führt. Diese Lehre von der „örtlichen" Genese durch direkte Beeinflussung von Zelle zu Zelle oder unter Vermittlung der nachbarlichen Blut- und Lymphgefäße ist nicht mehr modern, wird aber doch gelegentlich noch vertreten (vgl. z. B. F. Schultze). Sudek selber schloß sich in seiner dritten Mitteilung der Ansicht Kienböcks an, auf Grund dessen Argumentation, daß an eine fortgesetzte rarifizierende Ostitis nicht gut zu denken sei, da die Knochenatrophie auch die Nachbarknochen fortschreitend befällt. In Analogie zur reflektorisch-trophoneurotischen Muskelatrophie (Theorie von Vulpian-Paget), die übrigens die akute Knochenatrophie nicht selten begleitet, vermutete Sudeck auch für diese eine Trophoneurose. Spätere Autoren suchten dies mehr zu spezifizieren, teils im Sinne dystrophischer Reize (Goldscheider, Müller), teils im Sinne vasomotorischer Störungen (Autoren der letzten Jahre, z. B. Ohlmann, Lehmann, Herfarth). Andere Autoren (Brandes, Hilgenreiner, Lenk, Anschütz), englische und amerikanische Autoren, wie Grey und Carr, Allison und Brookes, bezeichnen als Hauptursache der Knochenatrophie die Inaktivität; Hilgenreiner nimmt dazu noch eine Disposition zur Knochenatrophie an. Bonnet und Gayet vertreten, um auch einige französische Autoren anzuführen, den gleichen Standpunkt wie Sudeck.

Bezüglich des Begriffes Knochenatrophie darf man wohl mit Billroth sagen, daß es ein recht unbestimmter Begriff ist. Man hat damit jede Art rarifizierten Knochens gelegentlich bezeichnet. Während man Fälle von Knochenrarifikation bekannter Ätiologie, wie Rachitis, Osteomalacie, Osteogenesis imperfecta, Morbus Barlow, diffuse Knochenkarzinose („Osteomalacia carcinomatosa" nach Volkmann) nicht unter den Begriff einfache Knochenatrophie faßt, tut man es bei Erfrierungen, obgleich es sich hier nach Ribbert um Knochennekrosen handelt, die beim konsekutiven Knochenumbau einen rarifizierten Knochen liefern müssen. Auch die Hungerosteopathien mit der Neigung zu schleichenden Frakturen weichen hierin von der einfachen Knochenatrophie ab. Es ist jedenfalls zweckmäßiger, Knochenkrankheiten, die mit Rarifikation einhergehen und deren Ätiologie bekannt ist, ätiologisch zu bezeichnen und nicht unter dem mehr symptomatischen Begriff Knochenatrophie zu subsummieren. Es sollte der Begriff Knochenatrophie unserer Meinung nach reserviert bleiben für die Altersatrophie, für die Inaktivitätsatrophie und für die akute Sudecksche Atrophie.

1. Senile Atrophie. Ätiologisch können 3 Faktoren zur Erklärung der senilen Knochenatrophie herangezogen werden: die Erschöpfung der Osteoblastentätigkeit, Kapillarschwund, wie an anderen Organen, und endlich mit Pommer eine Drucksteigerung im Markraum infolge der trägen Zirkulation. Für alle 3 Faktoren lassen sich Beweisgründe anführen. Verzögerte Kallusbildung im Senium, Verödung von Haverskanälchen (Schaffer), gelatinös-sulziges Mark im Sinne einer Phlegmasie des Markes bei Stauungsödem (Pommer).

Für die Osteoklastentätigkeit als einer nicht spezifischen Zellfunktion stehen immer Zellen aus der Adventitia der Gefäße oder aus dem Bindegewebe des Markes zur Verfügung, nicht aber für die zellspezifische Osteoblastentätigkeit, die durch das Altern an sich und durch den Gefäßschwund (Gefäße als Träger der Osteoblasten) verringert wird.

Zu dem Typus der senilen Atrophie darf man auch die Knochenatrophien bei allen hypobiotischen Zuständen außerhalb des Seniums rechnen, wie bei Marasmus und Kachexie. Bei Hungerzuständen findet sich nur in den schweren Fällen nach Hedinger eine mäßige Osteoporose.

2. Inaktivitätsatrophie. Wir verstehen unter Inaktivitätsatrophie im engeren Sinne mit Roux — rein begrifflich — jene Atrophieformen, die dadurch entstehen, daß der funktionelle Reiz und nur dieser wegfällt. Inaktivitätsatrophie in diesem Sinne ist also nicht identisch mit der „klinischen" Inaktivitätsatrophie, d. h. mit der Atrophie, die man am Krankenbett bei Ruhigstellung eines Gliedes beobachtet. Diese Ruhigstellung oder Inaktivierung bei Knochenbrüchen oder bei schlaffen Lähmungen oder auch bei nicht belasteten Amputationsstümpfen usw. hat komplexe Folgen. Neben dem theoretisch stipulierten Wegfall des funktionellen Reizes im Sinne von Roux bestehen auch bald schwerere, bald leichtere Zirkulationsstörungen, da ja die Saugwirkung der Muskulatur auf den Kreislauf des Blutes im Knochen infolge mangelnder Bewegung des Gliedes wegfällt (vgl. Langer). Der exakte Beweis, der reine Versuch, der eine reine Inaktivitätsatrophie im engeren Sinne einwandfrei dartun würde, steht noch aus. Wir wollen nicht revolutionär die Lehre des funktionellen Reizes ablehnen. Wir wissen ja, was für eine Rolle der funktionelle Reiz bei der Muskelatrophie und Muskelhypertrophie spielt. Wir möchten aber ausdrücklich betonen, daß beim Knochensystem die Sache sich doch etwas anders verhalten dürfte.

1. Roux hat 3 Fälle von „reiner" Inaktivitätsatrophie untersucht an einem nicht belasteten ankylotischen Amputationsstumpf unterhalb des Knies, an einem atrophischen Fußskelett eines etwa 12jährigen Kindes, das durch Koxitis zu vieljährigem Liegen

genötigt war, und an einer Tibiapseudarthrose. In den ersten 2 Fällen kann auch die klinische Ruhigstellung und die dadurch bedingte Zirkulationsverlangsamung oder Zirkulationsstörung ursächlich in Frage kommen. Vom dritten Falle gibt Roux an, daß das Bein stark zum Gehen gebraucht wurde, „indem die den Fuß und die Zehen bewegenden Muskeln noch auf die Tibia wirkten", die kompakte Rinde dieser untersuchten Partie war deshalb nur „wenig verdünnt".

2. Es besteht im Gegensatz zum Muskelsystem kein wesentlicher Dichtigkeitsunterschied des Knochens, z. B. bei einem Schwerarbeiter und einem Leichtarbeiter, trotzdem der körperlich Arbeitende natürlich gegenüber dem „Stubenhocker" sein Knochensystem funktionell viel stärker beansprucht. — Man mag uns einwenden, daß die Differenzen unterhalb des röntgenologischen Nachweises liegen und daß erst eine Gewichtszunahme von über 15% röntgenologisch nachweisbar sein dürfte. Solche Beweise durch Gewichtsbestimmungen und quantitative mikroskopische Analyse stehen aber noch aus.

3. Gelingt es im Experiment nicht, echte Knochenhypertrophien zu erzeugen, so wie man Muskelhypertrophien erzeugen kann. Bei neuer funktioneller Beanspruchung paßt sich zwar der Knochen den neuen statischen und dynamischen Verhältnissen an durch Umbau, er hypertrophiert aber nicht.

4. Ist die Frakturheilung bei atrophischen Knochen nach den Angaben von Bier und Alban Köhler nicht wesentlich gestört, d. h. trotz des fehlenden funktionellen Reizes geht die Knochenheilung glatt vonstatten. Roux war dies jedenfalls bekannt, und er hat deshalb nicht versäumt darauf hinzuweisen, daß der Determinationsfaktor (wir würden sagen Erhaltungsfaktor) eines Organes ein sehr mächtiger, weitgehend autonomer, d. h. von äußeren Einwirkungen relativ unabhängiger ist.

5. Spricht auch gegen die Annahme, daß die Atrophie nur die Folge des Fehlens des funktionellen Reizes sei, die Tatsache, daß die festgestellte Atrophie auch dann bestehenbleiben kann und nicht wieder glatt verschwindet, wenn die Aktivität und damit auch der funktionelle Reiz wieder einsetzt.

6. Bei hysterischen Lähmungen sind Knochenatrophien so gut wie nie zu beobachten (Nonne), d. h. die durch die Ruhigstellung bzw. Ruhighaltung gesetzte Zirkulationsstörung genügt nicht, um eine auch leichtgradige Knochenatrophie zu erzeugen, solange die Muskulatur und die Gelenkbewegungen in ihrer zirkulationsbeschleunigten Wirkung nicht ausgeschaltet sind. Gerade die hysterische Lähmung wäre aber ein einwandfreies Beispiel für eine Inaktivitätsatrophie s. str. Es dürfte interessant sein, Kataleptiker hinsichtlich des Problems der Knochenatrophie zu untersuchen.

Diese Überlegungen haben uns zu dieser Einschränkung über die Bedeutung des funktionellen Reizes bei der Frage der Knochenatrophie geführt. Klinisch besteht noch eine weitere Schwierigkeit, die Inaktivitätsatrophie im engeren Sinne von der akuten Knochenatrophie zu unterscheiden. Bei schweren Atrophieformen besteht immer neben der Ruhigstellung eine nennenswerte, früher geschilderte Störung in der Zirkulation. Wir sind nicht imstande zu entscheiden, wieviel an der resultierenden Knochenatrophie auf die Zirkulationsstörung und wieviel auf den Wegfall des funktionellen Reizes kommt. Höhere Grade von Knochenatrophie noch als Inaktivitätsatrophie zu bezeichnen, ist jedenfalls unrichtig. Leichte Formen von Knochenatrophie können uns überhaupt entgehen, da erst bei Gewebsverlusten des Knochens über 15% mit der Nachweisbarkeit im Röntgenbilde zu rechnen ist. Es wäre deshalb möglich, daß eine solche leichte Atrophie als reine Folge des Wegfalles des funktionellen Reizes tatsächlich existieren würde, aber vorläufig noch nicht nachgewiesen worden ist und erst durch exakte Gewichtsbestimmungen und quantitative mikroskopische Analyse bewiesen

werden könnte. Ist aber die leichte Atrophie als Röntgenatrophie nachweisbar, z. B. bei Lähmungen von Extremitäten, so können wir wiederum nicht sagen, wieviel auf die Zirkulationsstörung und wieviel auf den Wegfall des funktionellen Reizes zu buchen ist. Auch bei der Bekämpfung der Atrophie durch passive oder aktive Bewegungen kann theoretisch sowohl die Zirkulationsbeschleunigung als auch der neue funktionelle Reiz wirksam sein.

Wir glauben deshalb die reine Inaktivitätsatrophie zwar nicht bestreiten zu können, aber ebensowenig beweisen zu können. Sicher ist, daß die im Röntgenbilde feststellbare Atrophie immer ein komplexes Geschehen ist und daß dabei die Zirkulationsstörung, welche sicher allein für sich schon Atrophie erzeugen kann, die Hauptrolle spielt. Wir wollen deshalb ausführlicher noch unsere 3. Atrophieform, die akute Knochenatrophie, besprechen.

3. Akute Knochenatrophie. Damit kommen wir zur eigentlichen Sudeckschen Atrophie (akute oder aktive Knochenatrophie). Das Hauptkontingent primärer Noxen liefern akut entzündliche Prozesse, was nicht übersehen werden darf. Das histologische Bild trägt zur ätiologischen Erklärung dieser Atrophieform nichts bei, es zeigt eben nur, daß das Gleichgewichtsverhältnis zwischen An- und Abbau gestört ist. Der auch hier noch vorhandene Knochenanbau bleibt eben nur hinter dem physiologischen (oder gesteigerten?) Abbau zurück. Von den Faktoren, die man sich bei der Altersatrophie wirksam denken kann, entfällt hier die Erschöpfung der Osteoblastentätigkeit, da der Prozeß wenigstens in leichteren Fällen rückbildungsfähig ist. Aus gleichem Grunde spricht auch nichts für einen bleibenden Kapillarschwund der Markgefäße. Es bliebe sonach nach Pommer nur die Drucksteigerung im Markraume. Eine neurotrophische Störung, sei es als dystrophischer Nervenreiz, sei es als Vasomotorenstörung, ist, wie das Literaturstudium zeigt, gerade für den Knochen eine wenig leistungsfähige und unbefriedigende Hypothese wie alle „trophischen" Störungen. Ein direkter einwandfreier Nachweis der „trophischen" Nerven steht bekanntlich aus, man gerät dabei übrigens auch in Kollision mit dem sehr gut fundierten Virchowschen Autonomiebegriff der Zelle hinsichtlich ihrer Trophik, den auch Roux als Fundamentalbegriff des Zellebens anführt und den die malignen Tumoren mit unheimlicher Evidenz realisieren.

Wir glauben, daß man auch hier gangbarere Wege zur Erklärung der akuten Knochenatrophie finden kann, und zwar in zwei Richtungen.

a) „Sympathische Erkrankung des Knochenmarkes" (Ponfick) resp. kollaterale entzündliche Reizzustände des Knochenmarkes in der Umgebung entzündlicher Herde. Es scheint sich da um eine von Ponfick bekanntgegebene, dem Knochenmark eigentümliche Reaktionsweise zu handeln, die später nicht weiter beachtet wurde. Ponfick vergleicht sie mit der Milzschwellung bei den verschiedensten Affektionen. Busch fand sie bei seinen Ostitisexperimenten. Es handelte sich in diesen Fällen um eine allgemeine Knochenmarkaffektion bei allgemeinen Krankheiten. Daß bei mehr lokalen Affektionen auch die Markreizung sich mehr lokal halten wird, ist wohl eine erlaubte Annahme, etwa im Sinne eines kollateralen Entzündungsreizes.

Für Fälle von akuter Knochenatrophie, die sich an eine entzündliche Noxe anschließen, halten wir die erste Sudecksche Bezeichnung „akute entzündliche Knochenatrophie" für zutreffend. Als anatomische Grundlage supponieren wir die entzündliche Markreizung nach Ponfick und Busch. Die Ausbreitung der Atrophie hält sich ebensowenig wie die kollaterale Entzündung an anatomische Grenzen, sondern bekundet eine reine Nachbarschaftsbeziehung. Unerklärt ist dabei allerdings die bevorzugte

Ausbreitung distalwärts und nicht erklärt sind damit die akuten Knochenatrophien nach nichtentzündlichen Prozessen.

b) In dieser Hinsicht läßt sich nun ein zweites Moment einführen: Die infolge der Schmerzen resultierende Ruhigstellung der funktionell enger zusammengehörenden Gelenke führt nach den Ausführungen Langers über die Gefäßversorgung der Knochen zu Zirkulationsstörungen im Knochenmark. Die Muskel- und Gelenkbewegungen üben nach Langer eine Saugwirkung auf die aus den Knochen austretenden, mit Klappen versehenen Venenstämme aus. Die konsekutive Stauung, die entsprechend dem Gefäßreichtum der Epiphysen an diesen zuerst effektiv wird, führt zu einer akuten Inhaltsvermehrung des Knochenmarkes und löst damit nach Pommer Osteoklase aus.

Wir schalten hier den Passus der Langerschen Arbeit über die Eigentümlichkeiten des Blutkreislaufes in den Knochen wörtlich ein, da diese Abhandlung nicht leicht zugänglich ist.

„Die Knochenvenen . . . zeichnen sich durch die Anwesenheit von Klappen aus . . . Sie finden sich schon ganz nahe an den Austrittsöffnungen und meistens so zahlreich, daß die prall injizierten Gefäße mitunter geradezu ein rosenkranzartiges Aussehen bekommen. . . . Es liegt sehr nahe, diese Einrichtung an den Venen mit Eigentümlichkeiten des Blutkreislaufes in den Knochen in nahe Verbindung zu bringen.

Vorerst ist es klar, daß die Gefäße der Knochen, welche in einem unnachgiebigen, dem äußeren Muskeldrucke widerstehenden Aufbau eingetragen sind, und weil jeder Rücktritt des Blutes durch die an den Ausgängen angebrachten Klappen verhindert ist, in sich einen eigenen Gefäßbezirk darstellen, auf dem nur der Arteriendruck lastet, ein Druck, welcher schon in den engen Röhrchen der kleinsten Arterie herabgesetzt wird, im Bereiche der Venen aber vollends auf ein Minimum sinken muß. Wie sich zum Teile hieraus die äußerste Dünnwandigkeit der Venen begreift, erklärt sich anderseits, wie es möglich ist, daß der Blutlauf innerhalb des so überaus nachgiebigen und zarten Markgewebes ohne jede Störung, namentlich Extravasation vor sich gehen könne. Es ist auch die Annahme gewiß nicht unbegründet, daß der Blutlauf in dem venösen Kreislaufschenkel ein äußerst retardierter sei und daß andere äußere Einflüsse eingreifen werden, denselben zu fördern. Es wird dies gerade am Kniegelenk sehr einsichtlich, von dem ja bekannt ist, daß sich seine Kapazität während der Bewegungen stetig ändert, zur Streckung vermindert, zur Beugung vergrößert, und daß somit im letzteren Falle das Blut aus dem Knochen in die inneren, an die Kreuzbänder angeschlossenen Venen geradezu eingesogen werde. Das gleiche kann wohl auch für die anderen Venen gelten, deren Stämmchen sich ja in die Kniekehle öffnen, einen Raum, der gleichfalls wieder während der Beugebewegungen des Gelenkes, nämlich durch das Abheben der nahe an den Gelenkflächen angehefteten Beugemuskeln sich vertieft. Während also sonst die Muskulatur auf die intermuskulär verlaufenden Venen drückt und dadurch in ihnen den Blutlauf fördert, würde hier durch die Zusammenziehung der Muskeln geradezu eine Pumpvorrichtung in Tätigkeit gesetzt."

Beide Faktoren (kollaterales Ödem und Ruhigstellung mit Zirkulationsstörung) bedingen nach dieser Vorstellung die akute Knochenatrophie bei entzündlichen Prozessen, die Ruhigstellung und hierdurch bedingte Stauungshyperämie im Knocheninnern, die akute Knochenatrophie bei nichtentzündlichen Prozessen. Nach Abklingen der Hyperämie folgt die Lipomasie des Markes, die ihrerseits durch Verdrängung des osteogenetischen Markgewebes die Knochenapposition hemmt. Pommer fand im Bereiche des reinen Fettmarkes nirgends Knochenapposition.

Die Vorstellung, daß Stauungshyperämie die Knochenapposition fördere, ist von Roux widerlegt; beim wachsenden Knochen vermag sie wohl nach Roux das Knochenwachstum zu fördern, aber auch hier führt sie zu Vergrößerung des Markraumes, und nur das appositionelle periostale Wachstum des Knochens läßt normaliter keine Knochenatrophie zustande kommen.

Knochenatrophie ist Zirkulationsstörung. Die Knochenpathologen stellen sich vor, daß die mechanische Wirkung der Hauptfaktor sei. Der Stau- und Druckwirkung parallel geht natürlich auch eine Blutsäuerung; es wäre möglich, daß auch die Änderung der Wasserstoffzahl die Osteoklastentätigkeit anregt (vgl. darüber Rabl).

Es ist für uns eine Genugtuung, daß in knochenpathologischen Fragen so maßgebende Autoren wie Pommer und Looser in allerletzter Zeit zur Frage der Knochenatrophie in wesentlichen Punkten gleiche Anschauungen geäußert haben. Ihre Ausführungen haben natürlich unseren Gedankengang beeinflußt.

Pommer führt aus, daß chronische Osteoporose durch ungenügende Ersatzleistungen, d. h. mangelhafte Anlagerung von Knochen gegenüber dem physiologischen Knochenabbau entsteht. Akute Osteoporose wird durch gesteigerte Osteoklastentätigkeit, durch Stauung und kollaterale Hyperämie erklärt, anderseits aber auch durch die Wirkung der Unterernährung, Hunger- und Avitaminosezustände. Humorale und halisteretische Vorgänge spielen nicht mit.

Looser lehnt die trophoneurotische Hypothese für die Erklärung der akuten Knochenatrophie ab. Zirkulationsstörungen kommen durch Inaktivität (nach uns Ruhigstellung) zustande, da die normale Muskelfunktion die Zirkulation im Knochen

Abb. 4. Akute fleckige Knochenatrophie der rechten Hand nach Panaritium des (amputierten) Zeigefingers, 10 Wochen nach Beginn der Krankheit. 52jähriger Patient.

wesentlich befördert. Zirkulationsstörungen und Druckstauungen sind der wesentliche Grund für die akute porotische Atrophie.

Von den neuesten Ausführungen Kienböcks interessiert uns hier die Einteilung der Formen der Knochenatrophie nach ätiologischen Gesichtspunkten. Er unterscheidet eine echte und eine unechte Osteoporose. Die einfache oder echte Osteoporose kann akut oder chronisch sein (wohl unsere „akute" Atrophie). Die unechte Osteoporose ist entweder eine trophisch-dyskrasische Osteoporose (Rachitis, Osteomalakie, Osteopsathyrosis, Paget-Disease) oder eine entzündliche resp. ostitische Osteoporose oder endlich eine geschwulstartige, wozu auch isolierte Knochenzysten, der Echinokokkus des Knochens und die multiple Recklinghausensche Knochenkrankheit gehören, abgesehen von primären und sekundären Neoplasmen.

Wenn wir auch die trophoneurotische Ätiologie der akuten Knochenatrophie ablehnen, so soll damit nicht gesagt sein, daß für manche Nervenverletzungen mit Schä-

Abb. 5. Fleckige Form der Knochenatrophie an beiden Händen bei einer seit einem halben Jahre bestehenden Tuberkulose der rechten Carpalia. 48jähriger Patient.

digungen der Vasomotoren immerhin die hierdurch bedingte Gefäßschädigung (s. Lapinsky und Lewaschew) mit ein unterstützendes Moment für das Zustandekommen einer Knochenatrophie, und zwar auf dem Umwege einer Zirkulationsstörung abgeben kann. Für die alltäglichen Fälle von Knochenatrophie ohne Nervenläsionen erscheint es uns gezwungen, Vasomotorenschädigungen anzunehmen.

Abb. 6. Verschwommenes Bild der Sudeckschen Knochenatrophie des linken Fußes bei einer seit Monaten bestehenden Weichteiltuberkulose im Bereiche des Metatarsus I. 60jähriger Patient.

H. Röntgenbild der Knochenatrophie.

Das Röntgenbild des atrophischen Knochens ist in allen wesentlichen Merkmalen in den grundlegenden Sudeckschen und Kienböckschen Arbeiten geschildert. Wir verweisen diesbezüglich auf das oben Mitgeteilte.

Einer besonderen Erörterung bedarf das Zustandekommen des fleckigen und verwaschenen Bildes der akuten Atrophie und eine Erklärung dafür, warum die chronische Form wieder ein „reines" Strukturbild aufweist. Weiterhin soll verständlich gemacht werden, warum chronisch atrophische Knochen hohen Grades eine auffallend scharfe Randkonturierung aufweisen, als ob sie mit einem Stifte scharf umrissen wären. Daneben soll auf einige Details eingegangen werden (scharfes Hervortreten der Wachstumslinien, Fugenreste und der Verschlußplatte gegen das Gelenk hin) und auf Strukturänderungen aufmerksam gemacht werden, die leicht zu diagnostischen Irrtümern führen können. Die exakte Grundlage für die Deutung der Röntgenbilder liefert

natürlich auch hier die pathologische Anatomie. Deshalb wurde auf dieses Kapitel oben etwas näher eingegangen. Daneben sind aber immer die Besonderheiten der röntgenologischen Methodik (Absorption, Streuung, Strahlenhärte) wohl zu berücksichtigen.

Abb. 7. Reine osteoporotische Form der Knochenatrophie infolge Ruhigstellung. 6 Wochen nach Abriß des Malleolus internus. 13jähriger Patient.

Der oben angeführte Satz, daß das histologische Bild der Knochenatrophie die Verschiedenheit der röntgenologischen Strukturbilder der akuten Atrophieformen von der chronischen nicht ohne weiteres erklärt, zwingt dazu, will man innerhalb der Grenzen des Tatsächlichen bleiben, sich zu fragen, ob da nicht Besonderheiten der röntgenolo-

gischen Methode einen wesentlichen Einfluß auf das Zustandekommen der Bilder haben, denn es ist, wie oben ausgeführt, nicht erlaubt, Halisterese zur Erklärung der verschwommenen Struktur im Röntgenbilde heranzuziehen; auch die lakunäre Annagung der Tela ossea für die Unschärfe der Röntgenbilder verantwortlich zu machen, geht ebenfalls nicht an, da es sich da um mikroskopische Veränderungen handelt, die im makroskopischen Röntgenbilde nicht sichtbar werden können (wie z. B. Alban Köhler behauptet), zumal infolge der aus physikalischen Gründen nicht völlig ausschaltbaren Streuung der

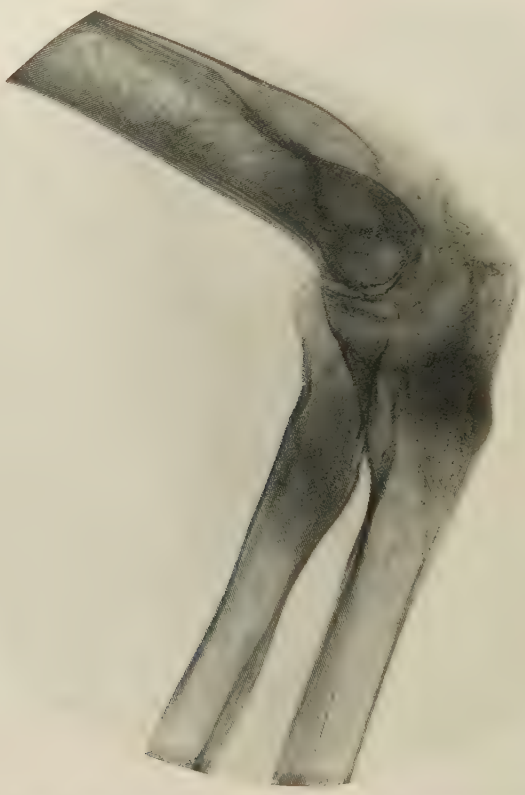


Abb. 8. Chronische Form der akuten Knochenatrophie mit streifiger Aufhellung der Kompakta bei einer seit 2 Jahren bestehenden Tuberkulose des Ellbogengelenkes. 16jähriger Patient.

Röntgenstrahlen auch die schärfsten Röntgenbilder noch lange nicht die Schärfe der Knochenstruktur eines Knochenschliffes erreichen.

Der Erklärungsversuch Kienböcks für das Zustandekommen der fleckigen Knochenatrophie (Abb. 4 und 5) resp. des verschwommenen Strukturbildes bei der akuten Form hält ebenfalls der Kritik nicht stand. Kienböck meinte, die in den Spongiosaräumen bei dem überstürzten Kalkabbau liegenbleibenden gelösten Kalksalze könnten das Bild verschleiern. Diese Annahme ist erstlich rein hypothetisch und weiter, selbst wenn dem so wäre, so brauchte daraus noch nicht eine Verschleierung des Bildes zu resultieren. Dazu ist die für die Absorption maßgebende Atomnummer des Kalziums zu klein, um in gelöster Form genügend schattenbildend zu wirken. Man bedenke, daß das zur Pyelo-

Abb. 9. Hypertrophierende chronische Form der akuten Knochenatrophie bei einer seit 6 Jahren bestehenden Tuberkulose der rechten Carpalia. Vergleichsaufnahme beider Hände. 26jähriger Patient.

graphie benutzte Natriumbromid trotz der ungleich größeren Atomnummer des Broms in 20—30%iger Lösung angewendet werden muß, um einen ordentlichen Kontrast zu erzielen. Die Atomabsorption geht etwa mit der vierten Potenz der Ordnungszahl; daher überwiegt — bei gleicher Konzentration — Brom an und für sich bedeutend über Kalzium, indem $\left(\frac{35}{20}\right)^4$ 9.36. Zudem liefert uns die Natur selbst das Experiment, um diese Frage zu beantworten. Es ist Tatsache, daß kariöse Knochenherde mit Kalkkrümeln reichlich besetzt sind, also nicht nur in gelöster, sondern auch in fester Form vorhanden sind, und trotzdem sieht der kariöse Herd atrophisch aus und zeigt bei entsprechender Aufnahmetechnik reinliche Strukturzeichnung. Wir lehnen daher den Erklärungsversuch Kienböcks ab. Daß noch evtl. das grobe Korn der photographischen Platte für die Unschärfe des Bildes in Betracht komme, widerlegt sich von selbst, da der atrophische Knochen in situ ein unscharfes Strukturbild geben kann, während derselbe Knochen mazeriert dennoch ein gut ausgeprägtes Netzwerk von Bälkchen auf der photographischen Platte abbildet.

Wir glauben, daß die Gitterwirkung der Spongiosamaschen resp. Spongiosabälkchen eine brauchbarere Erklärung des Strukturbildes eines akut atrophischen Knochens gibt.

Abgesehen von der Größe und dem evtl. Wandern des Brennfleckes, abgesehen von der nötigen Penetranz der Strahlung und der Plattennähe des abzubildenden Objektes, hängt die Bildschärfe von der Abblendung der Streustrahlen ab. Zu diesem Zwecke benutzen wir ja mit Erfolg die Tubusblenden, das Bucky-Gitter und das Potter-Bucky-Gitter. Der normale Knochen entwickelt nun durch seine Spongiosanetzstruktur einen Bucky-Effekt. Nur sehr engmaschig strukturierte Knochen, wie das Sternum, machen bekanntlich der Röntgendarstellbarkeit ihrer Struktur Schwierigkeiten. Der Kalkgehalt des Knochens ist eben nicht allein maßgebend für das Zustandekommen eines scharf konturierten Knochenstrukturbildes.

Werden die Bälkchen hochgradig verschmälert, so daß sie sogar durchscheinend werden können, so kann die Strahlenstreuung in den den Knochen deckenden Weichteilen genügen, um den Bucky-Effekt der Spongiosabälkchen aufzuheben. Entfernt man die Weichteile und macht man dann vom Knochen neuerlich eine Aufnahme, wie es Exner tat, so macht sich der Bucky-Effekt wieder geltend und die Spongiosa wird wieder sichtbar. In gleichem Sinne spricht auch die eigene Erfahrung, daß z. B. eine grobmaschige Spongiosastruktur bei Ostitis fibrosa Recklinghausen im Röntgenbilde bei der Obduktion umgekehrt ein enges, aber zartmaschiges Spongiosagefüge zeigen kann. Es ist also nicht erlaubt, auf Grund der Maschenweite der Spongiosa im Röntgenbilde weitgehende Schlüsse auf die tatsächliche Maschenweite im anatomischen Präparat zu ziehen. Hier liefert der allgemeine Eindruck der geringeren Kalkdichtigkeit des Knochens und die Vergleichsaufnahme mit der gesunden Seite einen zuverlässigeren Anhaltspunkt für den Grad der Knochenatrophie. Zuverlässig ist ferner auch die Dickenabnahme der Kompakta im Röntgenbilde.

Das verschwommene Strukturbild des akut atrophischen Knochens (Abb. 6) erklärt sich demnach aus dem Verlust des Bucky-Effektes der Spongiosa infolge hochgradiger Verdünnung der Bälkchen. Das „gefleckte" Bild erklärt sich aus der diskontinuierlichen Destruktion der Tela ossea, wie wir es oben im Schema angedeutet haben. Die eigentümliche Unschärfe der Randkonturen solcher Knochen ergibt sich aus der Porosierung gerade der oberflächlichsten Lagen der Kompakta infolge Ausweitung der Gefäßkanäle um die eintretenden Gefäße (s. Schema). Bei kleinen Knochen, wie den Phalangen der Hand, sieht man hierbei oft eine sehr zierliche Längsstreifung der Kom-

Abb 10. Altersatrophie bei einem 64jährigen Patienten.

pakta, bei größeren Röhrenknochen, nach eigenen Beobachtungen, nur bei Aufnahme im mazerierten Zustande.

Das reinliche Strukturbild des chronischen Stadiums (Abb. 7, 8, 9, 10) erklärt sich einerseits aus der Verdünnung der Kortikalis, die, auch bei Aufnahmen mit weicher Strahlung, die Spongiosa nicht mehr verschleiernd überlagert, anderseits hypertrophieren stark beanspruchte Trajektorensysteme, die den Bucky-Effekt verstärken, und endlich mag auch die Lipomasie des Markes zur Klärung des Bildes beitragen. Die Randkonturen werden auffallend scharf, da die umfassende Generallamelle durch innere Apposition ebenfalls hypertrophiert. Die Konturen gegen das Gelenk zu sind scharf, da die verkalkte basale Knorpelschicht wegen des Gefäßmangels ebensowenig atrophiert wie verkalkter Fugenknorpel: aus gleichem Grunde treten, wie oben erwähnt, die Wachstumslinien scharf hervor, und ebenso erscheinen häufig die enchondralen Knochenkerne wie von einer dünnen Schale umgeben.

Zur Differentialdiagnose. Nach einer eigenen Beobachtung kann die fleckige Form der Knochenatrophie, wenn sie ganz im Beginne zirkumskript auftritt, einen rundlichen isolierten Aufhellungsherd setzen (in unserem Falle handelte es sich um den Talus), kann an der Tuberositas tibiae eine schräg nach innen-oben aufsteigende, kaum 1 cm breite Resorptionszone auftreten. Solche Fälle drängen zur Diagnose Karies; erst der weitere Verlauf (in unserem Falle außerdem eine Probeexzision) klären den Befund auf. Nebenbei bemerkt, beobachteten wir in diesem Falle auch ein sprunghaftes Fortgleiten der Knochenatrophie vom Talus zu den übrigen Tarsalia, um sich schließlich im Kuboid dauernd festzusetzen. Dieses Verhalten spricht wohl auch ganz entschieden gegen die Annahme einer einfachen Inaktivität als Ursache der aktiven Knochenatrophie. Bemerkenswerterweise änderte sich dabei auch entsprechend der gut lokalisierte Spontanschmerz im atrophischen Knochen, der gleichfalls sprunghaft wanderte. Anderseits ist bekannt und auch auf Grund autoptischer Kontrollen unseres Materials durch Hanhart neuerdings sichergestellt, daß nicht selten das reine Bild mittelschwerer Knochenatrophie durch diffuse metastatische Karzinose zustandekommen kann.

Im negativen Sinne außerordentlich charakteristisch, wenn auch nicht pathognomonisch, ist das Fehlen periostaler Auflagerungen, endostaler sklerotischer Demarkierungen um Kavernen oder Defekte, das Fehlen von Sequestern, Umbauzonen und spontanen Deformierungen (wie bei malacischen Knochen), ferner die Intaktheit der Gelenkknorpel (der Gelenkspaltbreiten) und das Fehlen von Gelenkrandusuren und endlich das Intaktbleiben des Fugenknorpels mit seinen provisorischen Verkalkungslinien. Differentialdiagnostisch von Bedeutung ist endlich die Lieblingslokalisation bei Knochenatrophie in den peripheren Skeletteilen.

Die hervorragende Bedeutung der Knochenatrophie und speziell der akuten Knochenatrophie für das Vorhandensein und die Heftigkeit eines zugrunde liegenden entzündlichen Prozesses oder für die Schätzung der schädlichen Folgen einer zu langen Ruhigstellung der Extremität wurde von allen Autoren mit Recht betont. Nicht minder gilt das auch für die Beurteilung der subjektiven Beschwerden eines Patienten, wo es sich darum handelt, eine Simulation auszuschließen, da, wie oben hervorgehoben, der Schmerz ein recht konstanter Begleiter der akuten Knochenatrophie ist.

Zusammenfassung.

1. Pathologisch-anatomisch handelt es sich bei den Knochenatrophien jeder Form um eine exzentrische (oder innere) Atrophie mit Wahrung der äußeren Form und der inneren Architektonik. Die Spongiosabälkchen sind verdünnt, ihre Zahl mehr

oder weniger reduziert; einzelne Spongiosazüge können (bei den chronischen Formen der Knochenatrophie) auch hypertrophieren. Die Kompakta ist spongiosiert und verdünnt. Die Markräume sind ausgeweitet, das Markgewebe zeigt in der nächsten Umgebung der Tela ossea den Charakter des hyperplasierenden Markes, sonst den des Fettmarkes, in senilen und marantischen Fällen von Knochenatrophie auch den des entfetteten Gallertmarkes. Wenngleich der Knochenabbau durchaus im Vordergrunde steht, so finden sich dennoch an vielen Stellen Zeichen des erhaltenen Knochenanbaues in Form glättender Appositionssäume. Es finden sich keine periostalen Auflagerungen, keine „Halisterese", keine Osteoidbildungen. Der Gelenkknorpel (und Fugenknorpel) bleibt intakt.

2. Die experimentellen Versuche mittels Nervendurchschneidung, Sympathektomie, Nervendurchschneidung mit gleichzeitiger Gefäßunterbindung der Arteria nutritia führt, sofern die Versuche rein sind, zu keiner (oder wenigstens zu keiner nennenswerten) Knochenatrophie. Experimentelle Ruhigstellung durch Tenotomie oder immobilisierende Verbände führt zu Knochenatrophie wegen der eintretenden Zirkulationsstörungen im betroffenen Knochen.

3. Ätiologie. Begrifflich echte Formen von Knochenatrophie gibt es deren 3 Gruppen: die senile (und hypobiotische), die Inaktivitäts- und die akute (Sudecksche) Knochenatrophie.

a) Für das Zustandekommen der senilen Knochenatrophie kommen 3 Faktoren in Betracht, und zwar Erschöpfung der Osteoblastentätigkeit, Kapillarschwund und Drucksteigerung im Knocheninnern infolge der trägen Zirkulation.

b) Inaktivitätsatrophie: die Bedeutung der verminderten funktionellen Reize für den Knochen wurden überschätzt. Wir können die Inaktivitätsatrophie zwar nicht bestreiten, aber auch nicht beweisen, da leichtere Grade von Knochenatrophie, die bei der Inaktivität vorkommen könnten, sich dem Röntgennachweis entziehen; schwerere und damit röntgenologisch nachweisbare Formen sind aber immer auch durch Zirkulationsstörungen infolge Ruhigstellung der Gelenke kompliziert. Ruhigstellung und Inaktivität sind aber keine identischen Begriffe.

c) Die akute (Sudecksche) Knochenatrophie erklärt sich bei irgendeiner primären entzündlichen Noxe aus dem kollateralen Reizzustande des Knochenmarkes, bei nichtentzündlichen Prozessen aus der Zirkulationsstörung im Knocheninnern im Sinne einer Stauungshyperämie, wenn die Extremität ruhiggestellt wird und infolgedessen die Muskel- und Gelenkaktionen ausfallen, die nach Langer eine Pumpvorrichtung für den an sich trägen Blutlauf im Knocheninnern darstellen.

Die reflektorisch-vasomotorische oder trophoneurotische Ätiologie der Knochenatrophie wird abgelehnt.

4. Röntgenbild. Da für die differenten Röntgenbilder bei den verschiedenen Formen resp. Stadien der Knochenatrophie gleiche histologische Veränderungen an Knochen nachzuweisen sind, muß das differente Verhalten des atrophischen Knochens im Röntgenbilde auf physikalischen Eigentümlichkeiten des Röntgenbildes beruhen. Wir finden hierfür die Erklärung im Bucky-Effekt der maschig angeordneten Spongiosabälkchen. Die Gitterwirkung der Spongiosamaschen schwindet bei hochgradiger Verdünnung der Bälkchen (verschwommenes Bild), sie wird wieder wirksam, wenn die Balkenzüge durch Hypertrophie ihre normale oder auch ihre größere Dicke gewinnen. Das fleckige Bild erklärt sich aus der Diskontinuität des akuten Knochenabbaues. Wegen des variierenden Bucky-Effektes je nach der Decke der Bälkchen darf auch nicht die Maschenweite der Spongiosa im Röntgenbilde gleichgesetzt werden der am anatomischen Präparate.

Die Latenzzeit im Röntgenbilde, d. h. der negative Röntgenbefund bei schon wirksamer primärer Noxe, ist variabel je nach der Intensität der auslösenden primären Schädlichkeit. Sie ist ebenfalls mehr ein Röntgenphänomen als eine anatomisch-pathologische Eigentümlichkeit der Knochenatrophie an sich, da der anatomische Nachweis histologisch oder durch Wägung der Knochen oder durch Bestimmung ihrer Zugfestigkeit schon dann gelingt, wenn noch der Röntgenbefund negativ ist.

5. Differentialdiagnostisch kann Karies und diffuse Knochenkarzinose anfangs unüberwindliche Schwierigkeiten machen. Der weitere Verlauf im Röntgenbilde bringt die Entscheidung. Im übrigen charakterisiert sich die Knochenatrophie im Röntgenbilde recht gut durch ihre anatomischen Merkmale und besonders auch durch ihre Prädilektionsstellen in den spongiösen Teilen des jeweiligen Skelettstückes und durch ihre Tendenz, peripherwärts fortzuschreiten.

6. Prognostisch sind leichtere Formen der akuten Knochenatrophie sicher rückbildungsfähig; bei schwereren Formen ist die Prognose ungewiß, da diese nicht selten dauernd persistiert. Therapeutisch kommen entsprechend dem wichtigen Faktor der Zirkulationsstörung vor allem Versuche der besseren Durchblutung des Knochens durch Bewegungstherapie und nach der Bierschen Schule hyperämisierende Maßnahmen in Betracht.

Literaturverzeichnis.

Das Literaturverzeichnis macht auf Vollständigkeit keinen Anspruch, in den meisten der angeführten Literaturarbeiten finden sich weitere Angaben.

Allison und Brooks, Arch. of surg. 1922, 5 Nr. 3. Zit. nach Herfarth, l. c.
Anschütz, Lehrbuch der Chirurgie von Wullstein und Küttner 1923.
Axhausen, Arbeiten aus dem Gebiete der Knochenpathologie und Knochenchirurgie, Langenb. Arch. 1911, 94 S. 296, 316 u. 346.
Baastrup, The acute bone atrophie and its Roentgenpicture. Acta radiologica 1923, 2 S. 365.
Bier, Beobachtungen über Regeneration beim Menschen, D. m. W. 1917 S. 927.
Billroth, Chirurgische Pathologie und Therapie 1906 S. 598.
Brandes, Experimentelle Untersuchungen über den zeitlichen Eintritt der durch Inaktivität bedingten Knochenatrophie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1914, 21 S. 551.
Busch, Über Veränderungen des Markes der langen Röhrenknochen bei experimentell erregter Entzündung eines derselben, B. kl. W. 1878 S. 173.
Cassirer, Die vasomotorisch-trophischen Neurosen (Monographie) 1912.
— Die trophische Funktion des Nervensystems, Erg. d. allgem. Path. 1909, 13 S. 89.
Deycke-Pascha, Knochenveränderungen bei Lepra nervosum im Röntgenbild, Fortschr. d. Röntgenstr. 1905/1906, 9 S. 9.
Dubs, Über Sudecksche Knochenatrophie nach Verbrennungen, M. m. W. 1921 S. 1141.
Ehringhaus, Eine Prädilektionsstelle für Spontanfrakturen bei tuberkulöser Koxitis, B. kl. W. 1911 S. 480.
Exner, Beiträge zur Kenntnis der akuten Knochenatrophie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1902/1903, 6 S. 1.
Finkelnburg, Knochenveränderungen nach Neuritis (Schußverletzungen peripherischer Nerven), D. m. W. 1915 S. 755.
Fleischhauer, Über Nervenverletzungen, B. kl. W. 1915 S. 212.
Gayet und Bonnet, Les altérations osseuses d'origine nerveuse, Arch. génér. de méd. 1901 S. 495.
Geinitz, Die Nervenschüsse, Erg. d. Chir. u. Orthop. 1920, 12 S. 468.
Goldscheider, Zschr. f. klin. M. 60, zit. nach Fleischhauer.
Grey und Carr, An experimental study of the factors responsible for non-infections bone atrophy, Bull. of the Johns Hopkins hospital 26 Nr. 297, ref. Zbl. f. Chir. 1916 Nr. 5.
Hagemann, Eine typische Oberschenkelfraktur bei Knochenatrophie und Kniegelenkkontraktur, Bruns Beitr. 1912, 76 S. 527.

Hahn und Deycke-Pascha, Knochensyphilis im Röntgenbilde, Fortschr. d. Röntgenstr., Ergänzungsband 1907, 14 S. 7.
Hanhart, Über Fehldiagnosen bei Knochenmarkkrebs, Schweiz. m. Wschr. 1923 S. 619.
Hedinger, Über Störungen des Knochenwachstums junger Rinder bei Unterernährung, Zschr. f. angew. Anat. u. Konstit. 1920, 5 H. 4/6, zit. nach W. Müller, Die normale und pathologische Physiologie des Knochens 1924.
Herfarth, Beiträge zur Frage der Sudeckschen Knochenatrophie, Bruns Beitr. 1924, 132 S. 165.
Hilgenreiner, Gibt es eine Sudecksche Knochenatrophie? Bruns Beitr. 1923, 129 S. 683.
Hitschmann und Wachtel, Die sog. Sudecksche Knochenatrophie als häufige Folge von Erfrierungen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1919/1921, 27 S. 621.
Hoffmann, Über Sudecksche Knochenatrophie, M. m. W. 1916 S. 296.
Jorres, zit. nach Bernhard, Arch. f. mikr. Anat. 1924, 102 S. 489.
Kapsammer, Verhalten der Knochen nach Ischiadikusdurchschneidung, Langenb. Arch. 1898, 56 S. 348.
Kienböck, Über akute Knochenatrophie bei Entzündungsprozessen an den Extremitäten (fälschlich sog. Inaktivitätsatrophie der Knochen) und ihre Diagnose nach dem Röntgenbilde, W. m. W. 1901 Nr. 28—32 und 34.
— Über infantile chronische Polyarthritis, Fortschr. d. Röntgenstr. 1916/1917, 24 S. 71.
— Mitt. d. Ges. D. Naturforsch. u. Ärzte, Innsbruck 1924, ref. in Naturw. 1924 H. 46.
Köhler, Die normale und pathologische Anatomie des Hüftgelenkes und des Oberschenkels, Fortschr. d. Röntgenstr., Ergänzungsband 12, 1905 S. 42.
— Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbilde (1) 1910.
— Handbuch der ärztlichen Erfahrungen im Weltkrieg 1922, 9 S. 106.
Kölliker, Handbuch der Gewebelehre 1867 S. 221, zit. nach Langer.
Langer, Über das Gefäßsystem der Röhrenknochen mit Beiträgen zur Kenntnis des Baues und der Entwicklung des Knochengewebes. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. mathemat.-naturwiss. Klasse 1876, 36 S. 7 und 30.
Lapinsky, Zur Frage über die Beteiligung der Nervenstämme der hinteren Extremität an der vasomotorischen Innervation der distalen Gebiete derselben und über die Veränderungen der vasomotorischen Elemente sowie der Gefäße selbst der Hinterpfote nach Beschädigung des N. Ischiadikus, Virch. Arch. 1906, 183 S. 1.
Latarjet, Resultats expérimentaux sur l'accroissement des os en longeur, Compt. rend. Ass. Anat. Paris 1912 S. 72, zit. nach Jber. Anat. 1913, 18 S. 180.
Lehmann, Zur Frage der neurotischen Knochenatrophie, insbesondere nach Nervenschüssen, Bruns Beitr. 1917, 107 S. 605.
Lenk, Zur Frage der akuten Knochenatrophie bei Knochenbrüchen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1918 bis 1919, 26 S. 301.
Lewaschew, Experimentelle Untersuchungen über die Bedeutung des Nervensystems bei Gefäßerkrankungen, Virch. Arch. 1883, 92 S. 152.
Looser, Mitt. d. Ges. D. Naturforsch. u. Ärzte, Innsbruck 1924, ref. in Naturw. 1924 H. 46.
Maliva, Trophische Störungen nach Verletzung peripherer Nerven mit besonderer Berücksichtigung der Knochenatrophie, M. Kl. 1917 S. 733.
Meyer, Histologische Studien über den Gefäßeinschluß, insbesondere über die Entstehung der sog. durchbohrenden Kanäle und ähnlicher Gebilde in der knöchernen Labyrinthkapsel von menschlichen Föten und Jungkindern, Zschr. f. Anat. u. Entwgesch. 1923, 69 S. 551.
Müller, E., Untersuchungen über die durchbohrenden Knochenkanäle, Arch. f. mikr. Anat. 1924, 103 H. 1/2 S. 308.
Müller, L. R., Das vegetative Nervensystem, Monographie 1920 S. 252.
Müller, W., Die normale und pathologische Physiologie des Knochens, 1924.
— Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung langdauernder Immobilisierung auf die Gelenke, Zschr. f. orthop. Chir. 1924, 44 S. 478.
— Neue Experimente über die Wirkung mechanisch-funktioneller Beanspruchung auf Knochen und Wachstumszonen, Zschr. f. orthop. Chir. 1924, 45 S. 328.
Nasse, Pflüg. Arch. 1880, 23 S. 361, zit. nach Baastrup.
Nonne, Über radiographisch nachweisbare akute und chronische Knochenatrophie (Sudeck) bei Nervenkrankheiten, Fortschr. d. Röntgenstr. 1901/1902, 5 S. 293.
Ohlmann, Über Sudecksche Knochenatrophie, Fortsch. d. Röntgenstr. 1916/1917, 24 S. 517.
Pommer, Über die Osteoklastentheorie, Virch. Arch. 1883, 92 S. 296. Bemerkungen zu den Lehren von Knochenschwund, Arch. f. mikr. Anat. 1924, 102 S. 324.

Pommer, Zur Kenntnis der progressiven Hämatom- und Phlegmasieveränderungen der Röhrenknochen auf Grund der mikroskopischen Befunde im neuen Knochenzystenfalle H. v. Haberers, Arch. f. orthop. Unf. chir. 1920, 17 S. 17.
— Mitt. d. Ges. D. Naturforsch. u. Ärzte, Innsbruck 1924, ref. in Naturw. 1924 H. 46.
Ponfick, Über die sympathischen Erkrankungen des Knochenmarkes bei inneren Krankheiten. Virch. Arch. 1872, 56 S. 534.
Rabl, Knochenregeneration, Kalk, Rachitis, Tetanie, Virch. Arch. 1924, 249 S. 335.
Reznicek, Über vasomotorische und trophische Störungen bei den Kriegsverletzungen der peripheren Nerven, W. kl. W. 1915 S. 545.
Ribbert, in Kleinschmidt, Über das Verhalten des Knochens gegenüber Kälteeinwirkung, Virch. Arch. 1909, 197 S. 308.
Roux, Anpassungslehre, Histomechanik und Histochemie, Virch. Arch. 1912, 209 S. 168.
— Über die Dicke der stationären Elementarteile und die Maschenweite, Zschr. f. orthop. Chir. 1896, 4 S. 284.
Schaffer, Lehrbuch der Histologie und Histogenese (2) 1922 S. 182.
Schiff, Recherches sur l'influence des nerfs sur la nutrition des os, Compt. rend. des séances de l'Acad. des sciences, T. 38, 1854, zit. nach Kapsammer.
Schinz und Slotopolsky, Experimentelle und histologische Untersuchungen am Hoden, D. Zschr. f. Chir. 1924, 188 S. 76.
Schultze, Über den Einfluß der Muskeltätigkeit auf den Muskelumfang nebst Bemerkungen über die sog. reflektorische Knochenatrophie, M. m. W. 1924, Jg. 71, Nr. 16 S. 494.
Sudeck, Zur Altersatrophie und Inaktivitätsatrophie der Knochen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1899 bis 1900, 3 S. 201.
— Über die akute entzündliche Knochenatrophie. Langenb. Arch. 1900, 62 S. 147.
— Über die akute (reflektorische) Knochenatrophie nach Entzündungen und Verletzungen an den Extremitäten und ihre klinischen Erscheinungen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1901/1902, 5 S. 277.
Waldeyer, Diffuse Hyperplasie des Knochenmarkes, Virch. Arch. 1871, 52 S. 315.
Winternitz, Erfrierung im Röntgenbilde, M. Kl. 1917 S. 239.
Wolff Über trophische Störungen bei primärem Gelenkleiden, B. kl. W. 1883 S. 449.

Die akute Miliartuberkulose im Röntgenbild

Von

Professor Dr. **Alexander Lorey**

Mit 12 Abbildungen
auf 3 photographischen Tafeln

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Die akute Miliartuberkulose im Röntgenbild 133
Erläuterung der Abbildungen 144
Literaturverzeichnis 145

Die akute Miliartuberkulose kommt dadurch zustande, daß durch Vermittlung des Blutweges eine plötzliche und massige Einschwemmung von Tuberkelbazillen in die verschiedenen Organe, und zwar stets am meisten in die Lungen erfolgt, wodurch eine dichte und gleichmäßige Aussaat von miliaren oder submiliaren Tuberkeln in den Lungen, eine mehr oder weniger dichte, manchmal auch nur spärliche Aussaat in den übrigen Organe des Körpers entsteht. Durch den gleichzeitigen Übertritt von giftigen Stoffwechselprodukten in das Blut entsteht das Fieber und die schweren nervösen Symptome, die zum klinischen Bilde der akuten Miliartuberkulose gehören. Die akute Miliartuberkulose ist also nicht schlechthin zu identifizieren mit der hämatogenen Aussaat von Tuberkelbazillen, denn im Verlaufe jeder tuberkulösen Erkrankung gelangen wohl des öfteren Tuberkelbazillen in die Blutbahn; und schließlich sind ja die tuberkulösen Erkrankungen der Harnwege, der Knochen, der Meningen usw. nicht anders zu erklären als durch hämatogen bedingte Erkrankungen von einem Primärherde aus. Auch die wiederholt erfolgenden Schübe hämatogener Aussaat von nicht massigen Mengen von Tuberkelbazillen dürfen wir nicht als akute Miliartuberkulose bezeichnen. Wenn wir zu einem scharf umrissenen Krankheitsbilde kommen wollen, müssen wir an der Massigkeit und Plötzlichkeit des Bazilleneinbruches festhalten.

Die massenhafte Einschwemmung der Tuberkelbazillen erfolgt in seltenen Fällen durch den direkten Durchbruch eines außerhalb des Gefäßes liegenden Käseherdes in eine größere Lungenvene, vielmehr in der Regel durch den käsigen Zerfall eines in der Intima einer Lungenvene metastasisch entstandenen Tuberkels oder auf indirektem Wege durch Vermittlung des Ductus thoracicus. Wo die Tuberkelbazillen haften bleiben, entwickeln sich im interstitiellen Gewebe epitheloid- und riesenzellenhaltige Tuberkel, die sich bei weiterem Wachstume auf die benachbarten Alveolen ausdehnen. Die Gewebsveränderungen können rein produktiv bleiben oder aber es gesellen sich exsudative Veränderungen hinzu, wodurch das Granulationsknötchen von einem pneumonischen Herde umgeben wird. Bei der Sektion finden wir die Schnittflächen beider Lungen etwas gebläht und dicht und gleichmäßig von unzähligen hirsekorngroßen oder auch etwas kleineren transparenten, grauweißlichen Knötchen, deren Zentrum verkäst sein kann, durchsetzt. Die Größe und Zahl der Herdchen nimmt meist in kraniokaudaler, ebenso in ventrodorsaler Richtung allmählich etwas ab. Daß bei dieser vorwiegend produktiven hämatogen disseminierten Form der Miliartuberkulose die einzelnen Tuberkel die Größe eines Hirsekornes nicht überschreiten, ist wohl dadurch zu erklären, daß die Kranken der Toxinwirkung erliegen, ehe die Miliartuberkel die Zeit gehabt haben, weiter zu wachsen.

In anderen selteneren Fällen, die wir als miliare käsige Bronchopneumonie oder nach Graeff und Küpferle als hämatogen disseminierte, lobulär exsudative Tuberkulose bezeichnen können, stellt sich sofort eine reichliche zellreiche Exsudation in die Alveolen und kleinsten Bronchien ein. Es bilden sich rasch verkäsende, teilweise konfluierende bronchopneumonische Herdchen. Bei der Sektion finden wir dann rundliche oder mehr eckige prominente Herdchen, die ungleich groß und meist größer sind wie bei

der vorwiegend produktiven Form der Miliartuberkulose. Ob die eine oder andere Form zustande kommt, hängt von den wechselnden Beziehungen zwischen der Virulenz resp. Giftwirkung der eingedrungenen Bazillen und dem Immunisierungszustande der betreffenden Individuen ab. Bei besonders starker Giftwirkung kann in ganz seltenen Fällen eine ganz akut verlaufende, als Sepsis tuberculosa acutissima bezeichneten Erkrankung entstehen, bei der es gar nicht zur Ausbildung von makroskopisch sichtbaren Tuberkeln kommt, sondern sich erst mikroskopisch kleinste Nekroseherdchen in den Organen finden lassen. Die klinische Diagnose der akuten Miliartuberkulose ist besonders im Beginne der Erkrankung durchaus nicht leicht zu stellen. Jeder Kliniker weiß, welche Schwierigkeiten die Differentialdiagnose gegenüber einer großen Reihe von akuten Infektionen, besonders gegenüber Typhus und Sepsis bereiten kann, wie Fieberkurve, der häufig vollkommen negative Lungenbefund, Milztumor, der Ausfall der Diazoreaktion, die Differenzierung der weißen Blutkörperchen uns oft in unserer Entscheidung nicht weiterbringen und auch die bakteriologische und serologische Untersuchung uns zuweilen im Stiche läßt. Die für die Diagnose der Miliartuberkulose beweisenden Chorioidealtuberkel werden oft erst in späterem Stadium sichtbar oder fehlen auch zuweilen. In Fällen mit stärkerer meningealer Beteiligung — und diese sind sehr häufig — wird oft eine tuberkulöse Meningitis diagnostiziert und übersehen, daß diese nur eine Teilerscheinung einer allgemeinen tuberkulösen Meningitis ist.

Unter diesen Umständen ist es sehr wichtig, daß uns das Röntgenbild über die Frage: Liegt eine allgemeine akute Miliartuberkulose vor oder nicht? fast immer eine eindeutige Antwort gibt, und zwar schon im frühen Stadium der Krankheit zu einer Zeit, wo ohne das Röntgenverfahren eine Diagnose noch nicht möglich ist. In unserem Institut wurde zuerst im Jahre 1906 von Otten eine akute Miliartuberkulose durch das Röntgenbild einwandfrei nachgewiesen, und seitdem bedienen wir uns des Röntgenverfahrens in allen einschlägigen Fällen. Es zeigten dann im Jahre 1908 auf dem Röntgenkongreß Klieneberger einen und Presuhn aus unserem Institut zwei derartige Fälle. Später veröffentlichte Achelis einige Fälle von röntgenologisch nachgewiesener Miliartuberkulose. Trotzdem war die Bedeutung der Röntgenuntersuchung bei allgemeiner Miliartuberkulose noch nicht allgemein anerkannt, wurde doch noch im Jahre 1910 die Möglichkeit des röntgenologischen Nachweises der akuten Miliartuberkulose gelegentlich einer Debatte in der Medizinischen Gesellschaft in Berlin von mehreren Internisten als eine Utopie bezeichnet. Es wurde deshalb im Jahre 1911 auf dem Röntgenkongreß die Frage von Haudeck nochmals an Hand eines charakteristischen Bildes angeschnitten und der hervorragende Wert der Röntgenuntersuchung in der Diskussion auf Grund eines großen Materials von Aßmann, Dietlen und Lorey bestätigt.

Wie in den einleitenden anatomischen Betrachtungen auseinandergesetzt ist, kann die akute Miliartuberkulose in zwei Formen auftreten. Bei weitem am häufigsten wird die vorwiegend produktive Miliartuberkulose angetroffen, während die miliare käsige Bronchopneumonie oder lobulär exsudative Miliartuberkulose viel seltener ist.

Entsprechend dem verschiedenen anatomischen Verhalten werden wir auch Unterschiede im Röntgenbilde nachweisen können. Eine noch weitergehende Differenzierung der Miliartuberkulose, wie dies Gräff und Küpferle versuchen, halte ich praktisch für undurchführbar und auch belanglos. Charakteristisch für alle Formen der Miliartuberkulose ist die annähernd gleichmäßige Verteilung der Herdchen über beide Lungenfelder und das gleichartige Aussehen der einzelnen Herdchen in demselben Falle.

Bei den vorwiegend produktiven Formen finden wir beide Lungenfelder dicht und gleichmäßig mit kleinsten, rundlichen, voneinander gut abgegrenzten Herdchen durchsetzt, so daß die Lungenfelder ein gleichmäßig getüpfeltes Aussehen erhalten (Abb. 2, 3, 6). Die

Größe der einzelnen Herdchen kann die eines Hirsekornes erreichen, sie kann anderseits aber auch so gering sein, daß man erst bei ganz nahem Herantreten an die Platte die feinste Tüpfelung erkennen kann, während man auf etwas größere Entfernung meist nur mehr oder weniger vergrößerte Hilusdrüsenschatten sieht, die Lungenfelder selber aber im ganzen klar und gut durchleuchtet erscheinen. In demselben Falle sind die verschiedenen Herdchen jedoch stets alle von derselben Größe und der gleichen Beschaffenheit. Erst bei genauem Studium der Platte wird man erkennen, daß die Größe und Stellungsdichte der Herdchen von der Spitze nach der Basis zu häufig ganz allmählich und kaum merkbar abnimmt. Bei genauem Studium einzelner Plattenteile namentlich mit der Lupe wird man auch nicht selten feststellen können, daß die kleinsten Herdchen sich in einzelnen kleinen Grüppchen aneinanderlagern, ohne daß dadurch beim Betrachten der ganzen Platte mit unbewaffnetem Auge der Eindruck der ganz gleichmäßigen feinen Tüpfelung aufgehoben wird. Aus der Feinheit der hier in Betracht kommenden Schattenbildungen ergibt es sich, daß diese Veränderungen nur auf tadellosen, absolut scharfen Platten genau zu erkennen sind und daß bei besonderer Feinheit der Herdchen dieselben auf nicht scharfen Platten dem Nachweis entgehen können. Ebenso ist die Tüpfelung der Lungenfelder wohl nur in Ausnahmefällen auf dem Leuchtschirm zu erkennen. Höchstens fällt uns, wenn wir gewohnt sind, mit gleicher Strahlenqualität zu durchleuchten und durch die Erfahrung gelernt haben, die normale Helligkeit der Lungenfelder zu schätzen, eine leichte allgemeine Verminderung der Helligkeit der Lungenfelder auf, die uns stutzig macht, während uns die Platte alsdann die scharfe dichte Tüpfelung auf das deutlichste zeigt. Die Schwierigkeit, eine für die Diagnose brauchbare, absolut scharfe Platte zu erhalten, wird naturgemäß um so größer, je jünger das betreffende Kind ist, da es nicht möglich ist, diese zum Atemanhalten zu bringen. Jedoch dürfte es wohl keine Schwierigkeiten bereiten, mit moderner Apparatur Aufnahmen von solchen kleinen Kindern in $^1/_{50}$ oder $^1/_{100}$ Sekunde anzufertigen, namentlich wenn man einen doppelt begossenen Film und zwei Verstärkungsschirme verwendet. Dies hat auch noch den Vorteil, daß bei zwei Verstärkungsschirmen nur geringe Kornzeichnung der Schirme zu sehen ist, die bei Verwendung von Platte und einem Schirm bei besonders feinen Veränderungen sich unter Umständen störend bemerkbar machen kann. Bei kleinen Kindern empfiehlt es sich, die Aufnahme in Rückenlage anzufertigen, da man in dieser Lage die Kinder leicht durch Festhalten fixieren kann — es ist hierzu das Personal des Röntgeninstitutes nicht zu verwenden — und die der Rückenseite benachbarten Partien der Lunge sich weniger bewegen. Zweckmäßigerweise verwendet man hierbei einen Röhrenabstand von 1 m. Man stellt den Momentschalter auf Null ein. Das kurze Aufblitzen der Röhre beim Einschalten des Röhrenstromes wird bei kleinen Kindern und Verwendung von doppeltbegossenem Film und zwei Verstärkungsschirmen bei jedem einigermaßen leistungsfähigen Röntgenapparat genügen, um ein tadellos scharfes und bei Verwendung eines scharf zeichnenden weichen Thoraxrohres kontrastreiches, gut durchgearbeitetes Bild zu erhalten. Bei ganz kleinen Kindern kann die Beurteilung dadurch erschwert werden, daß hier das Herz einen unverhältnismäßig großen Teil der Lungen verschattet, außerdem die Interkostalräume sehr eng sind, so daß immer nur kleine Partien der Lungenfelder zur Betrachtung freibleiben, ganz besonders, wenn durch starke Auftreibung der Knorpelgrenzen der Rippen bei Rachitis die zur Beurteilung verfügbaren Lungenpartien noch weiter eingeengt werden.

Die Miliartuberkulose befällt in sehr vielen Fällen Personen, plötzlich mitten aus scheinbarer Gesundheit heraus, ohne daß vorher klinisch manifeste Krankheitssymptome sich gezeigt haben und ohne daß eine tuberkulöse Erkrankung der Lungen selber vorlag. Infolgedessen finden wir außer einer gleichmäßigen feinen Tüpfelung

der Lungenfelder meist nur etwas vergrößerte Hilusdrüsenschatten, aber keine größeren Verdichtungen auf in den Lungenfeldern. Anderseits kann der massige Einbruch in die Blutbahn natürlich auch im Verlaufe einer chronischen Lungentuberkulose erfolgen. Sind dann schon sehr ausgedehnte Verdichtungen auf den Lungen vorhanden, so kann dadurch der röntgenologische Nachweis der hämatogenen Aussaat erheblich erschwert werden.

Bei der zweiten Form der akuten Miliartuberkulose, der miliaren käsigen Bronchopneumonie oder hämatogen disseminierten, azinös exsudativen Tuberkulose sind die einzelnen Herdschatten größer und untereinander nicht so sehr in der Größe übereinstimmend wie bei der produktiven Form, sie sind auch etwas unregelmäßiger gestaltet, nicht ganz so scharf begrenzt, zum Teil ineinander überfließend (Abb. 4, 7). Die Stellungsdichte pflegt in den oberen und mittleren Partien meist etwas dichter zu sein und nach unten zu abzunehmen. Immerhin sind trotz aller Zerfließlichkeit die gleichmäßige Zerstreuung über die Lungenfelder und die Gleichartigkeit der Herdchen so ausgeprägt, daß wir dadurch auf die hämatogene Entstehung hingewiesen werden, wir haben auch hier ein ausgesprochen getüpfeltes Lungenfeld. Klinisch zeichnen sich diese Fälle im Gegensatz zur produktiven Form dadurch aus, daß wir über den Lungen allenthalben mehr oder weniger dichte, klein- bis mittelgroßblasige klingende Rasselgeräusche finden und der Verlauf ein besonders rapider zu sein pflegt. Abb. 7 zeigt einen derartigen Fall: 20jähriges Mädchen, früher immer gesund, 1. Mai 1917 erkrankt mit Husten, Mattigkeit und zunehmender Schwäche sowie Fieber. 18. Mai 1917 Krankenhausaufnahme. Anämisch reduzierter Ernährungszustand, beschleunigte Atmung, verschärftes bis bronchiales Atmen über beiden Lungen mit zahlreichen diffusen, fein- bis mittelgroßblasigen klingenden Rasselgeräuschen. Kleiner Milztumor. Augenhintergrund o. B. Hohe Kontinua um 40^0. Rapider Verfall. Gegen Ende leichte Benommenheit. 30. Mai 1917 Exitus. Das Sektionsprotokoll ist leider abhanden gekommen. Im Sektionsbuch findet sich die Diagnose verzeichnet: Akute Miliartuberkulose.

Das Röntgenbild der akuten Miliartuberkulose mit seiner feinen, dichten, gleichmäßigen, scharf markierten Tüpfelung entspricht eigentlich nicht dem, was wir nach unseren theoretischen Überlegungen erwarten sollten. Bedenken wir, daß die ganze Lunge gleichmäßig von unzähligen kleinen, dichtstehenden Tuberkeln durchsetzt ist, so ist es klar, daß die Röntgenstrahlen eine große Anzahl von in verschiedenen Ebenen liegenden Herdchen treffen müssen. Wir würden also zunächst zu erwarten haben, daß die verschiedenen Schatten ineinander projiziert und infolgedessen eine diffuse verwaschene, marmorierte Zeichnung mit allgemeiner Trübung der Lungenfelder zustande kommt, wie dies auch Klieneberger beschrieben hat. Trotzdem sehen wir auf guten scharfen Platten immer einzelne scharf begrenzte Fleckchen, die, wir man sich bei der Autopsie stets leicht überzeugen kann, sowohl in Größe wie in bezug auf Anordnung dem Befunde an der Leiche genau entsprechen. Was wir auf der Röntgenplatte sehen, muß also, wie ich in Übereinstimmung mit Aßmann, Haudeck u. a. annehme, das Bild der einzelnen Herdchen sein und nicht eine Summationswirkung. Daß Klieneberger eine verwaschene marmorierte Zeichnung fand, hat wohl seinen Grund darin, daß es sich in dem mitgeteilten Falle um eine postmortale Aufnahme handelte, bei denen ja bekanntlich durch veränderten Luftgehalt, Ödem usw. die Zeichnung verwischt werden kann.

Die isolierte Darstellung der einzelnen kleinen Herdchen in natürlicher Größe kommt daher, daß sich eben nur die plattennahen Herdchen abbilden, während die etwas weiter entfernten infolge ihrer Kleinheit vollkommen weggeleuchtet werden. Eine leichte Helligkeitsverminderung der Lungenfelder kann man sich dagegen als Summations wirkung erklären.

v. Dehn und Weinschenk haben kürzlich von neuem die Frage erörtert, warum bei der akuten Miliartuberkulose die einzelnen kleinsten Verdichtungsherde trotz ihrer Kleinheit in wahrer Gestalt auf der Röntgenplatte erscheinen. Sie gehen bei ihren Betrachtungen von einem von Jarisch und Hönlinger mitgeteilten Fall aus, bei dem sich bei der Sektion auf den Lungen und der Pleura nur einzelne miliare Knötchen fanden, die auf einer Röntgenplatte, die die Lungenzeichnung deutlich erkennen ließ, nicht zur Darstellung gekommen waren. Sie schließen daraus, daß eben die massenhaft im Lungengewebe zerstreuten Herde die Darstellung der einzelnen in hohem Grade befördern müssen. Sie denken sich den Vorgang so, daß jeder kleine Herd einen Teil der ihn treffenden Strahlen absorbiere, aber auch neue, Sekundärstrahlen aussende. Da die Miliartuberkel die ganze Lunge durchsetzen, summieren sich die von in verschiedenen Tiefen gelegenen Knötchen ausgesandten Sekundärstrahlen, und diese werden von den plattennächsten absorbiert. Diese Sekundärstrahlen verlaufen natürlich nach allen Richtungen, doch kommen für die Aufnahme nur die nach der Platte gerichteten in Betracht. Zum Beweise ihrer Behauptung beschreiben sie eine physikalische Versuchsanordnung, durch die sie zeigen konnten, daß einzelne kleine Gebilde, die an sich weggeleuchtet werden, durch vorgelegte ähnliche Körper als Sekundärstrahlenerzeuger in ihrer wahren Größe und Gestalt zur Darstellung gebracht werden. Dieselben Erwägungen müssen natürlich auch für alle anderen kleinfleckigen, die Lungen sehr dicht durchsetzenden Affektionen in Betracht kommen. Ebenso würde sich aus diesen Ausführungen ergeben, daß bei einer sehr spärlichen hämatogenen Aussaat die Herdchen nicht zur Darstellung kommen und die Diagnose nicht zu stellen ist. Es dürften jedoch diese Fälle prognostisch anders zu werten sein, auch fallen sie eigentlich nicht unter den Krankheitsbegriff der akuten Miliartuberkulose, weil eben das Moment der Massigkeit der Aussaat, welches ein Charakteristikum der akuten Miliartuberkulose ist, fehlt.

Ist somit das Röntgenbild der akuten Miliartuberkulose sehr charakteristisch — ich möchte behaupten eines der charakteristischsten und eindeutigsten, welches wir überhaupt in der Lungenröntgenologie kennen —, so sind doch immerhin Fehldiagnosen möglich. Diese können darin bestehen, daß eine vorhandene Miliartuberkulose nicht diagnostiziert oder die Diagnose Miliartuberkulose gestellt wird, wo die Tüpfelung des Lungenfeldes durch andersartige anatomische Prozesse hervorgerufen ist.

Zunächst muß die Wahrscheinlichkeit zugegeben werden, daß in den äußerst seltenen, besonders akut verlaufenden, als Sepsis tuberculosa acutissima bezeichneten Fällen, bei denen es gar nicht zur Ausbildung von makroskopisch sichtbaren Tuberkelknötchen kommt, sondern erst bei der mikroskopischen Untersuchung kleinste Nekroseherdchen gefunden werden, das Röntgenbild wohl negativ ausfallen dürfte. Mir selber steht kein derartiger Fall zur Verfügung, und auch in der Literatur konnte ich keine entsprechende Mitteilung finden. Des weiteren wurde bereits erwähnt, daß sehr spärliche, in den Lungen zerstreute miliare Tuberkel auch auf guten Platten dem Nachweise entgehen können. Diese Fälle sind jedoch meines Erachtens nicht als akute Miliartuberkulose zu bezeichnen, denn es fehlt die Massigkeit der Aussaat, die zu dem Bilde der akuten Miliartuberkulose gehört. Ebenso ist bereits erwähnt, daß bei mangelhafter Technik und nicht ganz scharfen Platten, namentlich bei Säuglingen und kleinen Kindern, eine sehr feine miliare Aussaat dem Nachweis entgehen kann und anderseits bei bereits vorhandenen, sehr ausgedehnten tuberkulösen Lungenveränderungen die Erkennung der akuten hämatogenen Aussaat erschwert sein kann, zumal auch gerade in diesen Fällen sich etwas größere Differenzen in der Größe und Stellungsdichte der einzelnen Herdchen finden können. Abgesehen von der Sepsis tuberculosa acutissima dürfte also jeder Fall von akuter Miliartuberkulose auf technisch einwandfreien Platten

zu erkennen sein. Ich selber habe jedenfalls bei einem Material, welches schätzungsweise im Laufe der Jahre auf etwa 100 Fälle angewachsen ist, nur ganz vereinzelt einmal die Diagnose nicht stellen können, und stets handelte es sich um Fälle, bei denen die Platte nicht technisch einwandfrei und infolge großer Unruhe der Kinder verwackelt war. Eine Einschränkung muß allerdings gemacht werden. Es ist nicht anzunehmen, daß wir schon vom ersten Tage der hämatogenen Aussaat an einen positiven Befund erhalten. Von welchem Tage ab eine akute Miliartuberkulose röntgenologisch nachweisbar ist, ist noch nicht erwiesen, sicher ist jedoch, daß dies schon in einem sehr frühen Stadium, vielleicht schon nach einer Woche der Fall ist, jedenfalls schon zu einer Zeit, wo auf andere Weise die Diagnose noch nicht zu stellen ist. Achelis teilt einen Fall von röntgenologisch zur Darstellung gekommener Miliartuberkulose mit, in dem bei der Autopsie die Knötchen so klein waren, daß sie mit bloßem Auge kaum zu entdecken waren.

Auf der anderen Seite gibt es eine Reihe von andersartigen pathologischen Prozessen, die ein der akuten Miliartuberkulose mehr oder weniger ähnliches Bild hervorrufen können.

In erster Linie kommen da solche Erkrankungen in Frage, bei denen eine massige Infektion der Lungen ebenfalls auf dem Blutwege zustande kommt. Vor allem sind da die äußerst seltenen Fälle von echter miliarer Karzinose zu erwähnen. Wir selber haben bisher einen einzigen derartigen Fall beobachten können, der klinisch das Bild der Miliartuberkulose vortäuschte und auch röntgenologisch die feine gleichmäßige Tüpfelung der Miliartuberkulose bot. Bei der Autopsie fand sich ein bohnengroßes primäres Bronchialkarzinom am Hauptbronchus, welches in die Lungenvene durchgewachsen war und Veranlassung zur hämatogenen Ausschwemmung von Krebszellen gegeben hatte. Bei der Autopsie waren die ganzen Lungen von miliaren Krebsknötchen gleichmäßig durchsetzt, so daß dieselbe auch anatomisch durchaus das Bild einer Miliartuberkulose bot und auch von dem Anatomen zunächst diese Diagnose gestellt wurde. Erst die mikroskopische Untersuchung deckte den wahren Sachverhalt auf. In der Literatur fand ich nur bei Aßmann einen ähnlichen Fall. Einen zweiten Fall von wahrscheinlich hämatogener Entstehung von Krebsmetastasen in den Lungen sah ich kürzlich (der Fall ist nicht zur Sektion gekommen). In diesem Falle war die Ausschwemmung jedoch viel spärlicher und die Knötchen wesentlich größer, so daß eine Verwechslung mit Miliartuberkulose nicht in Frage kommen kann. Es fanden sich hier etwa kirschgroße rundliche, scharf begrenzte Knoten über beide Lungen, besonders die unteren Teile, zerstreut.

Die echte Miliarkarzinose darf nicht, wie dies in der Literatur nicht selten zu finden ist, mit der bei weitem häufigeren Lymphangoitis carcinomatosa pulmonalis verwechselt werden, die meist metastasisch, vorwiegend bei Magenkarzinomen in den Lungen auftritt. Das klinische Bild derselben kann unter Umständen, wie dies 2 von Schmidt mitgeteilte Fälle beweisen, große Ähnlichkeit mit dem der akuten Miliartuberkulose haben. Es handelt sich hierbei um einen von den Hilusdrüsen aus in den Lymphspalten fortkriechenden Prozeß, bei denen die Lymphgefäße prall mit Krebszellen vollgepfropft sind. Röntgenologisch wird dadurch eine feine, maschige, netzartige Zeichnung hervorgerufen (Abb. 12). An Stellen, wo solche mit Krebszellen vollgepfropfte Lymphgefäße sich verzweigen oder orthoröntgenograd getroffen werden, können kleine punktförmige Schattenbildungen entstehen. Wir sehen auf solchen Platten meist einen dichteren Schatten in der Hilusgegend, der sich peripherwärts in eine Fleckelung und ein immer feiner werdendes Netzwerk auflöst, welches mit feinen Fleckchen besetzt sein kann. Es wird dadurch in den peripheren Partien auch der Eindruck einer feinen Tüpfelung hervorgerufen, stets ist aber bei genauerem Betrachten ein feines Netzwerk zu sehen. Meines

Erachtens ist die Abnahme der Schattendichte vom Hilus aus peripherwärts und die netzartige Zeichnung ein ausreichendes Unterscheidungsmerkmal gegenüber der akuten Miliartuberkulose mit ihrer ganz gleichmäßigen Tüpfelung. Ich bin jedenfalls bisher in keinem einzigen derartigen Falle in Versuchung gekommen, eine Miliartuberkulose zu diagnostizieren.

Brasche teilt einen Fall von Chorioepitheliom mit, bei dem sich bei der Autopsie zahllose miliare Geschwulstknötchen in der Lunge fanden. „18 Knötchen auf 1 qcm, die makroskopisch durchaus das Aussehen von Miliartuberkeln hatten." Der Fall ist röntgenologisch nicht untersucht. Nach dem anatomischen Befunde muß man jedoch annehmen, daß das Röntgenbild dem einer akuten Miliartuberkulose zum mindesten sehr ähnlich gewesen sein müßte.

3 Fälle von miliaren Tumormetastasen in der Lunge teilt Blum mit. Im ersten Falle handelte es sich ebenfalls um ein Chorionepitheliom. Es fanden sich hier „in beiden Lungenfeldern in ganzer Ausdehnung gleichgroße runde Flecken, etwas größer als bei Miliartuberkulose, rechts etwas dichter wie links, von oben nach unten an Zahl zunehmend, vom Hilus zur Peripherie etwas abnehmend. Die Diagnose auf Miliartuberkulose wurde trotz der großen Ähnlichkeit wegen dieser Anordnung nicht gestellt".

Im zweiten Falle handelte es sich um Melanosarkomatose. Das Röntgenbild der Lungen war dem eben beschriebenen auffallend ähnlich. „Auch hier etwas größere Fleckchen als bei Miliartuberkulose, rund und weich im ganzen Lungenfelde, rechts etwas mehr wie links und unten zahlreicher als oben. Nirgends eine Anordnung in Streifen. Die Autopsie ergab pigmentlose Sarkommetastasen in fast allen Organen, besonders in der Lunge, wo die kleinen weißen Knötchen überall den Lymphbahnen entlang gewachsen waren und auch hier auf dem Durchschnitt ein Bild wie das der Miliartuberkulose boten."

Der dritte Fall litt an einem Boeckschen Sarkoid. „Im Röntgenbilde waren die seit Kurnitzki und Bittorf, Altmann u. a. bekannten Veränderungen über das ganze Lungenfeld ausgedehnt in miliarer Anordnung, rechts ausgesprochener wie links, im Mittelgeschoß vom Hilus zur Peripherie hin etwas dichter als in den übrigen Lungenteilen. In beiden Unterlappen war auch eine Anordnung in Streifen zu sehen."

In allen 3 Fällen war also ein Röntgenbild zustande gekommen, welches große Ähnlichkeit mit dem der akuten Miliartuberkulose bot. Es waren jedoch deutliche Differenzen gegenüber dem typischen Bilde der Miliartuberkulose vorhanden, die Blum davor bewahrten, fälschlicherweise die Diagnose Miliartuberkulose zu stellen. Die einzelnen Fleckchen waren etwas größer, als man sie bei der akuten Miliartuberkulose findet, die Verteilung nicht so gleichmäßig, die Stellungsdichte in den Spitzenpartien im Gegensatz zur Miliartuberkulose geringer wie in den unteren Partien.

Bei der Aktinomykose kann es ebenfalls von den erkrankten intrathorakalen Drüsen aus zu einem Einbruch in die Blutbahn und damit zur hämatogenen Aussaat kommen. In 3 von uns beobachteten derartigen Fällen war es zu ausgedehnten Hautmetastasen, in 1 Fall auch zu einer lymphogenen peribronchitischen Ausbreitung der Aktinomykose, die ein der chronischen peribronchitischen Tuberkulose ähnliches Bild erzeugte, nicht aber zu einer miliaren Ausbreitung in den Lungen gekommen. Immerhin ist ein solcher denkbar, wenn ein Durchbruch in die Lungenvene erfolgt, und Lebram teilt den Sektionsbefund eines allerdings nicht geröntgten Falles mit, bei dem die Pleurablätter von zahlreichen grauen submiliaren Knötchen übersät waren, die makroskopisch nicht von Miliartuberkeln zu unterscheiden waren, mikroskopisch aber ausschließlich Eiterzellen und Pilzfäden, aber keine Tuberkelbazillen enthielten.

Auch eine Reihe von den Bronchien ausgehende Erkrankungen können einmal ein der akuten Miliartuberkulose ähnliches Bild erzeugen.

So fand Matthes einmal bei einem Falle von Typhus auf der Röntgenplatte der Lungen „dieselbe Zeichnung wie bei einer Miliartuberkulose", während die Autopsie kleinste, augenscheinlich durch chronische Bronchitis erzeugte Bronchialerweiterungen aufdeckte.

Im Anschluß an die Bronchiolitis können Bindegewebspfröpfe in die Bronchiolen und Infundibula hineinwuchern und zu einer Obliteration der Bronchiolen, zu einer Bronchiolitis obliterans führen. Es entstehen auf diese Weise kleine fibröse Knötchen, wodurch klinisch, röntgenologisch und anatomisch das Bild einer Miliartuberkulose vorgetäuscht werden kann. Einen derartigen Fall erwähnt Aßmann: „Lungenfelder gleichmäßig trübe, außerdem übersät mit etwa stecknadelkopf- bis kleinlinsengroßen Fleckchen von annähernd nicht genau gleicher Größe." Autopsie: „Lungen zeigen vermehrte Konsistenz, sind gleichmäßig durchsetzt von stecknadelkopf- bis kleinlinsengroßen Knötchen von derber Beschaffenheit. Anatomische Diagnose: Bronchiolitis obliterans."

Auch Matthes berichtet über einen unter dem klinischen Bilde der akuten Miliartuberkulose tödlich verlaufenden Fall von Bronchiolitis obliterans, bei dem die Röntgenplatte „das typische Bild der Miliartuberkulose zu ergeben schien".

Außerdem sah Matthes „ein der Miliartuberkulose zum Verwechseln ähnliches Bild" bei einem Falle von Status thymolymphaticus mit Diphtherie, ebenso Päßler in einem Falle von nichttuberkulöser Pseudoleukämie ein Bild, „welches dem der Miliartuberkulose zum Verwechseln ähnlich war".

In allen den zuletzt beschriebenen Fällen fehlt eine genauere Beschreibung der Röntgenplatte, so daß sich nicht sagen läßt, ob sich beim genauen Studium der Originalplatten doch noch Abweichungen vom Bilde der akuten Miliartuberkulose finden lassen, die eine Unterscheidung ermöglichen.

In sehr seltenen Fällen kommt es im Anschluß an Influenza als auch im Gefolge von Masern zur Ausbildung zahlreicher miliarer bronchopneumonischer Herdchen, die innerhalb von noch lufthaltigem Gewebe gelegen sind und nicht konfluieren. Sie können, wie Aßmann mitteilt, röntgenologisch und anatomisch einer Miliartuberkulose außerordentlich ähnlich sein und leicht mit einer solchen verwechselt werden. Aßmann bildet in seiner Röntgendiagnostik einen solchen Fall ab. „Im Röntgenbilde Lungenfelder allgemein gleichmäßig getrübt, durchsetzt von zahlreichen linsengroßen Knötchen." Autoptisch „zahlreiche miliare bronchopneumonische Herdchen in allen Lappen". Beim Betrachten des Röntgenbildes sind meines Erachtens, soweit sich nach einer verkleinerten Reproduktion überhaupt ein Urteil abgeben läßt, aber doch Unterschiede gegenüber der vorwiegend produktiven Miliartuberkulose zu finden. Die einzelnen Herdchen sind größer, als man es bei der Miliartuberkulose findet und nicht alle so untereinander in Größe übereinstimmend wie bei der akuten Miliartuberkulose, und es sind namentlich auf der linken Seite doch einige konfluierende Herdchen zu sehen. Dann nimmt aber auch die Stellungsdichte der Herde von der Spitze nach der Basis zu deutlich ab. Dagegen dürfte die Differentialdiagnose gegenüber den hämatogen entstandenen miliaren Bronchopneumonien schwerhalten.

Auch sonst findet man, namentlich bei Kindern, diffus über die Lungen zerstreute bronchopneumonische Prozesse, sei es, daß es sich um unspezifische bronchopneumonische Herdchen oder um käsig bronchopneumonische Herdchen handelt. Denn beide Formen können bei Kindern das gleiche Bild ergeben und sind nur auf Grund des Röntgenbildes nicht zu trennen. Diese Herdchen sind jedoch größer, vor allem auch in der Größe wechselnd, im Aussehen zerfließlich, teilweise konfluierend. Außerdem pflegen diese Herdchen bei Kindern in der Umgebung des Hilus am dichtesten zu sein, bei

Erwachsenen mehr die unteren Lungenpartien zu bevorzugen, so daß eine Verwechslung mit der akuten produktiven Miliartuberkulose nicht möglich ist und auch eine Verwechslung mit der hämatogen disseminierten miliaren käsigen Bronchopneumonie sich meistens vermeiden läßt.

Von anderen Formen der Tuberkulose kommt höchstens eine akute peribronchitisch disseminierte Tuberkulose in Betracht. Aßmann ist der Ansicht, daß diese Form sich zuweilen nicht von der akuten Miliartuberkulose unterscheiden lasse. Bei genauem Studium der Platte wird man aber doch meistens finden, daß bei der akuten peribronchitischen Tuberkulose die Tüpfelung der Lungenfelder durch in kleinen Gruppen zusammenliegende Herdchen bedingt ist, während bei der Miliartuberkulose die Herdchen gleichmäßiger verteilt sind. Auch sind die einzelnen Herdchen doch wohl meist größer und etwas unregelmäßiger gestaltet. Immerhin ist zuzugeben, daß die Unterschiede unter Umständen nur geringfügig sind und der Differentialdiagnose erhebliche Schwierigkeiten bereiten können.

Dagegen glaube ich nicht, daß die Pneumokoniose ernste differentialdiagnostische Schwierigkeiten bereitet, wie Wolff behauptet hat. Es handelt sich hier in der Regel um größere, zackig gestaltete Herdchen, die nicht so dicht und regelmäßig über die Lungen zerstreut sind. Auch finden wir in solchen Fällen häufig derbe Hilusdrüsenpakete mit derben, allseitig in das Lungengewebe ausstrahlenden Strangzeichnungen. Es gibt allerdings auch Fälle von Pneumokoniose, wo die Herdchen ziemlich klein und über das Lungengewebe einigermaßen gleichmäßig zerstreut sein können (Abb. 11), jedoch ist mir noch kein Fall zu Gesicht gekommen, bei dem ich in Versuchung gekommen wäre, eine Miliartuberkulose zu diagnostizieren, ganz abgesehen davon, daß uns das klinische Bild in solchen Fällen vor dieser Fehldiagnose bewahren muß. Dagegen kann die Pneumokoniose leicht mit anderen Formen der Tuberkulose verwechselt werden.

Aßmann hat zuerst darauf hingewiesen, daß man vereinzelt auch einmal bei ganz gesunden Personen dasselbe getüpfelte Feld wie bei einer Miliartuberkulose antreffen kann. Diese Beobachtungen zwingen uns zu untersuchen, ob in seltenen Fällen auch einmal eine akute Miliartuberkulose zur Ausheilung kommen kann, was a priori recht unwahrscheinlich ist und früher für unmöglich gehalten wurde. Und doch glaube ich, müssen wir auf Grund einiger in der Literatur niedergelegten Fälle unsere Ansicht revidieren.

In dem ersten Falle von Aßmann handelte es sich um einen zur Begutachtung überwiesenen arbeitsfähigen Mann, der physikalisch jetzt nur die Zeichen einer geringen Spitzenverdichtung bot, aber vor 7 Jahren im Anschluß an eine nach einem Unfalle entstandene Hämoptoe eine länger dauernde hochfieberhafte Erkrankung durchgemacht hatte. Der zweite Fall, der vor einigen Monaten leichte Lungenbeschwerden gehabt hatte, wurde von der Augenklinik wegen dort festgestellter tuberkulöser Veränderungen in der Chorioidea überwiesen. „In diesen beiden und noch einigen anderen Fällen ohne sicheren physikalischen Lungenbefund zeigte das Röntgenbild die vorher geschilderte dichte Tüpfelung. Es ist kaum eine andere Deutung möglich, als daß hier früher, sei es auf dem Lymph- oder Blutwege, eine Dissemination von Tuberkeln in der Lunge stattgefunden hatte, die später zur Ausheilung, wahrscheinlich auf dem Wege der Induration gekommen war.“ In einem weiteren, von Aßmann mehrere Monate beobachteten Falle wurde zunächst klinisch und röntgenologisch eine massenhafte, disseminierte Aussaat von Tuberkeln und gleichzeitig Chorioidealtuberkel festgestellt. Der Fall hatte zunächst einen hochfieberhaften Verlauf und wurde als infaust betrachtet. Allmählich stellte sich aber gegen alles Erwarten eine Besserung und schließlich vollkommene Entfieberung ein. Nach halbjährigem Wohlbefinden trat eine Verschlimmerung einer

daneben bestehenden Urogenitaltuberkulose ein, der der Patient erlag. Die Autopsie ergab eine Aussaat sehr feiner derber Knötchen in den Lungen, die mikroskopisch eine sehr dichte bindegewebige Schale aufwiesen.

Heinecke fand bei einem Falle , der nur geringfügige Lungenerscheinungen und kein Fieber, aber tuberkulöse Kehlkopfgeschwüre hatte und aus einem anderen Grunde zum Exitus kam, bei der Sektion eine „chronisch lymphogene Miliartuberkulose beider Lungen". „Mikroskopisch zeigten die interstitiell gelegenen Tuberkel Bindegewebsabkapselung, Lymphozytenring und vielfach zentrale Verkäsung, keine Alveolitis.

Max Cohn berichtet über ein 14jähriges Mädchen, welches mit Leber- und Milzschwellung bei nur wenig erhöhter Körpertemperatur, aber beträchtlicher Störung des Allgemeinbefindens aufgenommen wurde. Es wurde die Diagnose auf Bantische Krankheit gestellt und die Exstirpation der Milz vorgenommen. Beim Aufschneiden der herausgenommenen Milz während der Operation konnte sofort die Diagnose auf Miliartuberkulose derselben gestellt werden. Eine darauf vorgenommene Betrachtung der Bauchhöhle deckte eine miliare Aussaat über das Bauchfell und eine subperitoneale Milztuberkulose der Leber auf. Lungenerscheinungen waren bei dem Mädchen vorher nie wahrgenommen worden. Ein darauf angefertigtes Röntgenbild der Lungen ergab den charakteristischen Befund der Miliartuberkulose. Das Mädchen genas, und Cohn konnte sie jahrelang kontrollieren und dabei ausgesprochene Heilungsvorgänge auf den Lungen feststellen. Die kleineren Herdschatten konsolidierten sich zu größeren Infiltraten, die eine intensivere Dichte aufwiesen. Vom Hilus aus zogen deutlich erkennbare Bindegewebszüge nach der Peripherie. Auch die Miliartuberkulose der Bauchorgane ging zurück und machte später keine Erscheinungen mehr.

Lorey beobachtete ein 20jähriges Mädchen, welches im Jahre 1918 eine Grippe überstanden hatte, sonst aber stets gesund war. Am 11. Juli 1919 erkrankte es plötzlich mit einmaligem Erbrechen. Seitdem fühlte sie sich krank, es bestanden Magenbeschwerden in Form von Druck vor dem Magen und Appetitlosigkeit. Die Kranke wurde am 28. Juli 1919 in das Krankenhaus aufgenommen. Die Untersuchung ergab außer einem kleinen Milztumor lediglich eine leichte Anämie. Über den Befund von Chorioidealtuberkeln ist in der Krankengeschichte nichts berichtet. Die Temperatur war unregelmäßig, aber nicht beträchtlich erhöht. Das Röntgenbild zeigte zur allgemeinen Überraschung eine dichte, gleichmäßige, feine, miliare Aussaat (Abb. 9). Im Verlaufe von 6 Wochen entfieberte die Kranke und erholte sich dann rasch, so daß sie mit einer Gewichtszunahme von 5 kg entlassen werden konnte. Nach $1^1/_2$ Jahren konnte Lorey die Patientin nachuntersuchen. Sie sah blühend aus, fühlte sich ganz gesund und ging schon wieder lange ihrem Berufe nach. Das Röntgenbild der Lungen bot eine auffallende Veränderung. Die in die Augen springende dichte Tüpfelung der Lungenfelder war verschwunden, die Lungenfelder wieder hell durchleuchtet. Man sah zunächst nur etwas vermehrte Lungenzeichnung in Form feiner Stränge, die sich vom Hilus aus in die Lungenfelder verzweigten. Bei ganz genauem Betrachten der Platte konnte man eine feine Marmorierung ahnen (Abb. 10). Per exclusionem nahm Lorey an, daß es hier tatsächlich um eine ausgeheilte Miliartuberkulose gehandelt habe. Auffallend war ja der Befund bei der Nachuntersuchung. Man sollte eigentlich annehmen, daß die miliaren Tuberkel infolge der Abkapselung und fibrösen Umwandlung erst recht deutlich und markant zutage treten. Es ist wahrscheinlich, daß die Tuberkel selber hier winzig klein geblieben sind, aber ursprünglich wie alle frischen tuberkulösen Prozesse von einem entzündlichen Exsudat umgeben waren, welches in erster Linie für die Schattenbildung verantwortlich zu machen war. Dasselbe ist dann später im Heilungsstadium resorbiert worden. Vielleicht

ist dann auch noch in der Umgebung der Knötchen ein vikariierendes Emphysem aufgetreten, welches die Tüpfelung noch weiter verwischt hat.

v. Kern und Johan berichten ausführlich über ein 23jähriges Mädchen, welches mit hohem, seit einer Woche bestehendem Fieber, Dyspnoe und Zyanose aufgenommen wurde. Im übrigen war der Organbefund negativ. Diazoreaktion positiv. Im Augenhintergrunde zwei hanfkorngroße Solitärtuberkel. Röntgenbild: Beide Lungenfelder von zahlreichen reiskorngroßen und auch kleineren, nicht konfluierten Herdchen übersät. Diese Herdschatten waren besonders um die Hili vereinzelt, aber auch im ganzen Bereiche der Lungen sichtbar. Außerdem zeigte die Lungenplatte auf der rechten Seite eine vermehrte Intensität der Hilusschatten und im rechten Lungenfelde einige vergrößerte linsengroße Schatten. Nach 6wöchiger Behandlung hatte der Befund sich so gebessert, daß die Patientin in subfebrilem Zustande entlassen werden konnte. Durch einen 3monatigen ländlichen Aufenthalt wurde vollkommene Entfieberung und Gewichtszunahme von $11^1/_2$ kg erreicht. Nach 7monatigem vollkommenen Wohlbefinden erkrankte Patientin an einer tuberkulösen Meningitis, der sie erlag.

Bei der Sektion fand man eine Meningitis basilaris tuberculosa. Die Lungen waren mit möglichst gleichmäßig verteilten hirsekorngroßen und auch kleineren, sehr scharf abgegrenzten grauweißen Knötchen durchsetzt, die sich von der Schnittfläche etwas abhoben. Außerdem waren noch ab und zu einige erbsen- bis bohnengroße massive Knoten wahrnehmbar. Im übrigen fanden sich auch in der Niere Miliartuberkel und tuberkulöse Darmgeschwüre. Mikroskopisch waren die aus epitheloiden mit einigen Langhansschen Riesenzellen bestehenden miliaren Tuberkelknötchen mit einer aus fibrösem Bindegewebe gebildeten Kapsel umfaßt. Es war also hier zu einer Abkapselung der durch akute hämatogene Dissemination 10 Monate vor dem Tode entstandenen Miliartuberkel gekommen. Wir können hier natürlich, da mikroskopisch noch typische Tuberkel nachzuweisen waren, nicht von einer Heilung sprechen. Aber es muß doch durchaus die Möglichkeit zugegeben werden, daß auf diese Weise unter günstigen Umständen schließlich auch eine wirkliche Ausheilung zustande kommen kann.

Ist auch nicht in allen angeführten Fällen der strikte Nachweis erbracht, daß es sich wirklich um eine akute Miliartuberkulose gehandelt hat, so glaube ich doch, daß wir auf Grund der Fälle annehmen müssen, daß selbst eine akute Miliartuberkulose unter ganz besonders günstigen Umständen auch einmal nicht zu schnellem Tode, sondern abkapseln und schließlich zur Ausheilung führen kann. Voraussetzung dafür dürfte sein, daß es sich einerseits um wenig virulente und wenig Toxin produzierende Bazillen und anderseits um einen an Schutzkräften reichen Organismus handelt, so daß die Schutzkräfte in dem gegenseitigen Kampfe den Sieg davontragen. Allerdings wird dies nur ganz exzeptionell selten der Fall sein.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, daß das Röntgenbild der akuten Miliartuberkulose ein außerordentlich charakteristisches ist und die Röntgenuntersuchung ein unschätzbares und nicht zu entbehrendes Hilfsmittel zur Diagnose der akuten Miliartuberkulose darstellt. Die Verwechslungsmöglichkeiten sind, wenn man, wie dies bei allen Röntgenuntersuchungen der Fall sein soll, das klinische Bild berücksichtigt, praktisch belanglos, da andere Erkrankungen, die röntgenologisch und klinisch ein der Miliartuberkulose täuschend ähnliches Bild erzeugen, sehr selten sind und prognostisch die gleiche infauste Prognose geben.

Erläuterung der Abbildungen.

Abb. 1. Normale Lunge.

Abb. 2. Akute Miliartuberkulose, produktive Form. Auf der Originalplatte waren beide Lungenfelder ganz gleichmäßig mit submiliaren distinkt zur Abbildung kommenden Fleckchen übersät. (Leider zeigen die Reproduktionen trotz aller Bemühungen nicht im entferntesten die Feinheiten, die die Originalplatte erkennen läßt. So kommt hier im oberen Teile der Lungenfelder die Tüpfelung nicht deutlich zum Ausdruck, während in den unteren Partien teilweise ein feines Netzwerk auf der Reproduktion vorgetäuscht wird.)

Abb. 3. Akute Miliartuberkulose, produktive Form. Auf der Originalplatte sah man ebenfalls eine gleichmäßige distinkte Tüpfelung. Die einzelnen Tüpfelchen waren etwas größer wie in Fall 2.

Abb. 4. Akute Miliartuberkulose, exsudative Form. Die einzelnen Schattenherdchen sind größer, weniger scharf begrenzt, zerfließlich.

Abb. 5. Lymphangoitis carcinomatosa. Man sieht ein vom Hilus aus sich in immer feinere Stränge und Maschen auflösendes Netzwerk.

Abb. 6. Akute Miliartuberkulose, produktive Form. Auf der Originalplatte eine ganz gleichmäßige feinste Tüpfelung beider Lungenfelder. Die einzelnen Tüpfelchen heben sich ganz scharf gegen das helle Lungengewebe ab.

Abb. 7. Akute Miliartuberkulose, exsudative Form. Gleichmäßige Tüpfelung beider Lungenfelder mit etwas größeren zerfließlichen Herdchen.

Abb. 8. Chronische nodös-fibröse Tuberkulose mit akuter hämatogen disseminierter Aussaat. Auf der Originalplatte sieht man neben den derben alten strang- und fleckförmigen Schattenbildungen eine gleichmäßige Aussaat kleinster Herdchen über beide Lungenfelder.

Abb. 9. Akute Miliartuberkulose, produktive Form.

Abb. 10. Derselbe Fall ein Jahr später. Die Tüpfelung ist verschwunden.

Abb. 11. Pneumokoniose. Tüpfelung des Lungenfeldes spärlicher und unregelmäßiger wie bei akuter Miliartuberkulose. Die einzelnen scharf begrenzten Herdchen sind im allgemeinen größer und untereinander in der Größe verschieden.

Abb. 12. Bronchialkarzinom mit Lymphangoitis carcinomatosa. Auf der linken Seite dichte, durch den Bronchialtumor bedingte Schattenbildung. Rechts feine, der Miliartuberkulose ähnliche Tüpfelung. Bei genauerem Hinsehen kann man jedoch erkennen, daß ein feines, vom Hilus aus allmählich sich auflösendes Netzwerk besteht.

Abb. 1

Abb. 2

Abb. 3

Abb. 4

Verlag von Georg Thieme, Leipzig.

Photos: Paul O. Wiebe, Berlin 30.

Abb 5

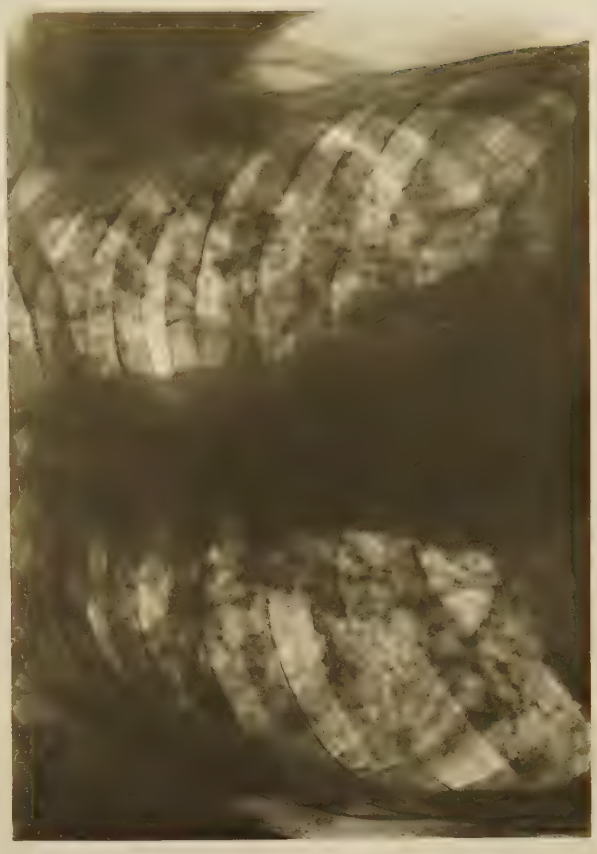


Abb. 8

Abb. 6

Abb. 7

Verlag von Georg Thieme, Leipzig.

Photos: Paul O. Wiebe, Berlin 30.

Abb. 10

Abb. 12

Abb. 9

Abb. 11

Verlag von Georg Thieme, Leipzig.

Photos: Paul O. Wiebe, Berlin 30.

Literaturverzeichnis.

Aßmann, Die Röntgendiagnostik der inneren Erkrankungen, Leipzig 1921.
— Demonstration von Röntgenaufnahmen, M. Ges. Leipzig, 6. Mai 1913, ref. M. m. W. 1913/1923.
— Beiträge zur Röntgendiagnostik der latenten, beziehungsweise inzipienten Lungentuberkulose, Fortschr. d. Röntgenstr. 18 H. 1.
— Diskussionsbemerkung zum Vortrag Haudeck, Verh. D. Röntg. Ges. 7 S. 49.
Achelis, Über die Röntgendiagnose der miliaren Lungentuberkulose, M. m. W. 1910 H. 36.
Beltz, Pneumokoniose im Röntgenbild, ref. M. m. W. 1914 Nr. 30.
Blum, Zur Differentialdiagnose miliarer Lungenprozesse und sekundärer Lungentumoren, M. m. W. 1924 H. 17.
Braunschweig, Diskussionsbemerkung zum Vortrag Holthusen im Naturhistorischen med. Verein Heidelberg, 26. Juli 1918, ref. M. m. W. 1918 Nr. 38.
Brasche, Die Lungenmetastasen bei malignem Chorionepitheliom mit besonderer Berücksichtigung eines eigenartigen Falles, Virch. Arch. 215.
Cornet, Die akute Miliartuberkulose in Nothnagel, spezielle Pathologie und Therapie, Wien 1913.
Cohn, Lungentuberkulose im Röntgenbild, Beiheft 2 zur Zschr. f. Tb.
Dehn und Weinschenk, Einige physikalische Erwägungen zur Lungenröntgenologie, Fortschr .d. Röntgenstr. 32 H. 3/4.
Eutin, Über Pneumokoniosen, Fortschr. d. Röntgenstr. 23 H. 1.
Gräff und Kupferle, Die Lungenphthise, Berlin 1923.
Dietlen, Diskussionsbemerkung zum Vortrag Haudeck, Verh. D. Röntg. Ges. 7 S. 50.
Haudeck, Zum radiologischen Nachweis der Miliartuberkulose, Verh. D. Röntg. Ges. 7 S. 49.
— Über den Nachweis der miliaren Lungentuberkulose im Röntgenbild, W. kl. W. 1910 S. 267.
Hegler, Akute allgemeine Miliartuberkulose (3) im Handbuch der Tuberkulose von Brauer, Schröder und Blumenfeld, Leipzig 1923.
Holthusen, Diagnose und Differentialdiagnose der akuten Miliartuberkulose, Naturhistorisch medizinischer Verein Heidelberg, 26. Juni 1918, ref. M. m. W. 1913 Nr. 38.
Janisch und Hönlinger, Zur Kasuistik der Miliartuberkulose, W. kl. W. 1923.
v. Kern und Johan, Über die Möglichkeit der Heilung der Miliartuberkulose, Beitr. z. Klin. d. Tb. 56.
Lebram, Arbeiten aus dem patholog. Institut Tübingen 1904, 4 H. 3, zit. nach Hegler.
Lorey, Diskussionsbemerkung zum Vortrag Haudeck, Verh. D. Röntg. Ges. 7.
— Das Röntgenverfahren zur Diagnose der Lungentuberkulose (3) im Handbuch der Tuberkulose von Brauer, Schröder und Blumenfeld, Leipzig 1923.
— Der Tuberkulosefortbildungskurs des allgemeinen Krankenhauses Hamburg-Eppendorf, Würzburg 1913.
— Ein Fall von geheilter Miliartuberkulose, Verh. D. Röntg. Ges. 13.
Klieneberger, Über Miliartuberkulose im Röntgenbild, Verh. D. Röntg. Ges. 4.
— Zur Diagnostik der Miliartuberkulose, Fortschr. d. Röntgenstr. 20.
Kurnitzky und Bittorf, Boecksches Sarkoid mit Beteiligung innerer Organe, M. m. W. 1915 Nr. 40.
Matthes, Lehrbuch der Differentialdiagnose innerer Erkrankungen, Berlin 1919.
— Akute Infektionskrankheiten in Schwalbes Diagnostische und therapeutische Irrtümer und deren Verhütung, Leipzig 1920.
— Die Diagnose der Miliartuberkulose, M. Kl. 1912 Nr. 44.
Neumann, Die Klinik der beginnenden Tuberkulose Erwachsener, Wien 1914.
Netousek, Diagnose der Miliartuberkulose, Fortschr. d. Röntgenstr. 25 H. 3.
Prehsun, Akute Miliartuberkulose, Verh. D. Röntg. Ges. 4.
Otten u. Schlayer, Miliartuberkulose, Verh. D. Röntg. Ges. 4.
Schmidt, Zur klin. Diagnostik der Miliartuberkulose, M. Kl. 1913 Nr. 50.
Schut, Die Lungentuberkulose im Röntgenbild, Beitr. z. Klin. d. Tb. 1912, 24.
Weil, Die Miliartuberkulose der Lungen im Röntgenbild, Fortschr. d. Röntgenstr. 15 H. 5.
Wolff, Diskussionsbemerkungen zum Vortrag Haudeck, Verh. D. Röntg. Ges. 7.

Die Spektroskopie in der medizinischen Röntgenologie

Von

Professor Dr. **Leonhard Grebe**

Mit 22 Abbildungen und mehreren Tabellen
im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Die Röntgenstrahlen als elektromagnetische Wellen 149
II. Die praktischen Röntgenspektralapparate 154
III. Das kontinuierliche Röntgenspektrum 158
IV. Das charakteristische Spektrum der Antikathode 163
V. Fluoreszenzstrahlung 168
VI. Absorption der Röntgenstrahlen 169

Literaturverzeichnis 173

I. Die Röntgenstrahlen als elektromagnetische Wellen.

Schon bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen vermutete man, daß eine Wesensverwandtschaft dieser Strahlen mit den Lichtstrahlen bestehe. Es fehlte deshalb von vornherein nicht an Versuchen, die Wellennatur dieser Strahlen nachzuweisen. Typisch für die Wellenstrahlungen sind die Erscheinungen der Brechung und der Beugung, und schon Röntgen selbst machte Untersuchungen, um solche Brechungs- und Beugungserscheinungen nachzuweisen. Auch später wurden diese Versuche fortgesetzt, und besonders Haga und Wind sowie Walter und Pohl suchten nach Beugungserscheinungen an sehr engen, keilförmig sich verengenden Spalten, ohne Beugungserscheinungen zu erhalten, die denen beim Licht entsprochen hätten. Erst ganz kürzlich ist es Walter bei erneuten Versuchen gelungen, beim Durchgang von Röntgenstrahlen durch einen beugenden Spalt typische Beugungsbilder zu erhalten, bei denen auf dem bildauffangenden Schirm neben dem eigentlichen Spaltbild deutliche Nebenmaxima zu sehen waren. Inzwischen waren aber andere Versuche gemacht worden, die über jeden Zweifel erhaben die Wellennatur der Röntgenstrahlen erwiesen hatten. Gleichzeitig gestatteten diese Versuche, die Wellenlänge der Röntgenstrahlen auf das genaueste zu ermitteln und damit einerseits den Grund zu legen zu einer Spektroskopie der Röntgenstrahlen, anderseits die Erklärung dafür zu geben, weshalb trotz der Wellennatur der Röntgenstrahlen die früheren Versuche zur Feststellung dieser Tatsache ergebnislos geblieben waren. Es sind dies die klassischen Versuche von v. Laue, Friedrich und Knipping, die auf einer Idee v. Laues fußend alle Unklarheiten über das Wesen der Röntgenstrahlen mit einem Schlage beseitigten und den Röntgenstrahlen ihren Platz in der Reihe der elektromagnetischen Wellenstrahlungen an deren unterstem Ende anwiesen.

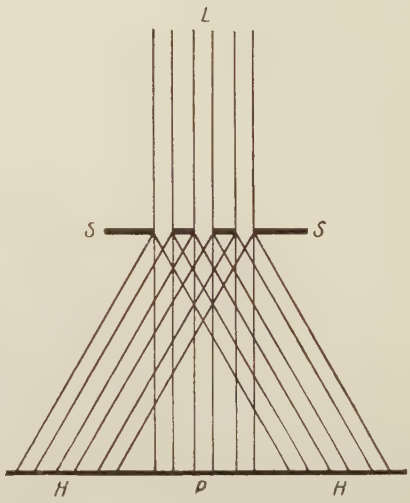


Abb. 1. Beugung an einem Gitter.

Auf das Prinzip der v. Laueschen Entdeckung müssen wir zunächst eingehen. Es handelt sich bei den Laueschen Versuchen um eine Übertragung der beim Licht bekannten Beugungsversuche auf die Röntgenstrahlen. Eine einfache Anordnung zur Erzeugung solcher Beugungserscheinungen beim Licht ist die folgende: Läßt man (Abb. 1) auf einen Schirm S, in den in gleichen Abständen feine Spalte eingeritzt sind, ein Bündel parallelen Lichtes L auffallen, so beobachtet man auf einem auf der Rückseite unserer Platte aufgestellten Auffangeschirm nicht nur einen Lichtfleck P in der Fortsetzung des primären Lichtbündels, sondern man erhält außerdem seitliche Hellig-

keitsmaxima HH, die durch Strahlenbündel hervorgebracht werden, die mit dem Primärstrahl bestimmte Winkel einschließen. Bei genügender Helligkeit des einfallenden Lichtes bleibt es nicht bei diesen beiden seitlichen Maximis „erster Ordnung", sondern es treten unter größeren Winkeln gegen den Primärstrahl noch solche zweiter, dritter und höherer Ordnungen auf, die jedoch nach den höheren Ordnungen hin immer lichtschwächer werden. Die Winkel, unter denen die abgebeugten Büschel erscheinen, sind abhängig von der Wellenlänge des benutzten Lichtes und von dem Abstande der beugenden Spalte voneinander. Mit abnehmendem Abstände der beugenden Spalte werden die Beugungswinkel größer, mit abnehmender Wellenlänge der einfallenden Lichtstrahlen werden sie kleiner. Lassen wir also auf ein solches Spaltsystem, das man als Gitter bezeichnet, ein Gemisch von Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge auffallen, so wird das in dem Gemisch enthaltene kurzwellige Licht am wenigsten, das langwelligste am meisten abgebeugt. Die Helligkeitsmaxima HH sind also in die im einfallenden Licht enthaltenen Wellenlängen oder Farben auseinandergezogen; es sind Spektren. Will man mit Hilfe eines solchen Gitters sehr kurzwelliges Licht untersuchen, so muß man ein sehr feines Gitter wählen. Wir sahen ja, daß bei Verkleinerung des Abstandes der Gitterspalte die Beugungswinkel zunehmen. Mit einem sehr feinen Gitter können wir also noch Lichtstrahlen abbeugen, deren Beugungswinkel bei einem gröberen Gitter so klein wäre, daß das Beugungsbild H nicht mehr vom primären Bild (oder wie wir auch sagen können, dem Bilde 0ter Ordnung) getrennt wäre. Je kurzwelliger das zu untersuchende Licht ist, um so feiner muß also das Gitter sein, das zur Herstellung eines Spektrums verwendet werden muß. Nun ist aber die Möglichkeit, sehr feine Gitter herzustellen, mechanisch beschränkt. Schon im Bereich des sichtbaren und ultravioletten Lichtes braucht man Gitter mit 100 bis 1000 Spalten auf das Millimeter, und eine weitere erhebliche Verfeinerung erweist sich als technisch unmöglich. Sind also, wie wir oben sagten, die Röntgenstrahlen elektromagnetische Wellen von noch erheblich kürzerer Wellenlänge als das kurzwelligste Licht, so ist es aussichtslos, Röntgenspektra mit mechanisch hergestellten Beugungsgittern erzeugen zu wollen. Glücklicherweise liefert nun die Natur Gitter, die für das Röntgenstrahlengebiet gerade den richtigen Grad der Feinheit besitzen, und die große Tat v. Laues besteht darin, diese Tatsache erkannt zu haben. Die hier geeigneten Gitter sind die Kristalle, von denen man schon seit langer Zeit angenommen hatte, daß sie aus regelmäßigen Anordnungen der sie zusammensetzenden Elementarteilchen aufgebaut seien. Die Entdeckung Laues hat nun in gegenseitiger Förderung nicht nur das Wesen der Röntgenstrahlen, sondern auch den Aufbau der Kristalle kennengelehrt, so daß wir auch in der Erkenntnis der Kristallstrukturen seit jener Zeit weit vorangeschritten sind. Betrachten wir etwa den Steinsalzkristall, so wissen wir heute, daß in ihm die das Steinsalz aufbauenden Atome Chlor und Natrium auf den Ecken von Elementarwürfeln angeordnet sind, so daß immer ein Chloratom sechs Natriumatome und ein Natriumatom sechs Chloratome zu Nachbarn hat. Es kommt also auf diese Weise eine räumliche Anordnung zustande, bei der in ganz regelmäßigen Abständen Materieelemente aufeinanderfolgen und zwischen sich materiefreie Räume von immer genau gleicher Größe offenlassen. Nachdem dieser Aufbau einmal bekannt ist, kann man die Entfernung von zwei benachbarten Atomen aus bekannten Daten berechnen. Man braucht dazu die Atomgewichte von Chlor und Natrium, den Umrechnungsfaktor, durch den diese Atomgewichte in wahre Gewichte umgerechnet werden, also das wahre Gewicht des Wasserstoffatoms und das spezifische Gewicht des Steinsalzes, also lauter bekannte Größen. Der Abstand der Atome im Steinsalz ergibt sich daraus zu 2,814 Angströmeinheiten. Eine Angströmeinheit gleich ein Zehnmilliontel Millimeter (10^{-8} cm).

In Abb. 2 ist die Anordnung der Atome in einem Steinsalzkristall dargestellt. Die durch einen leeren Kreis dargestellten Stellen bezeichnen die Chloratome, während die den ausgefüllten Kreisen entsprechenden Stellen die Natriumatome darstellen. Eine solche Anordnung ist nun freilich viel komplizierter als das von uns vorhin betrachtete

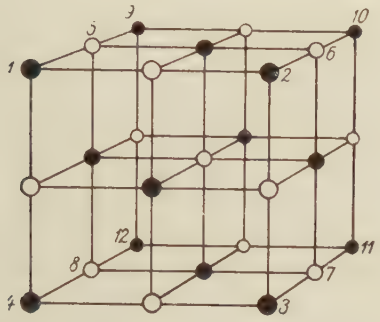


Abb. 2. Aufbau des Steinsalzkristalls.

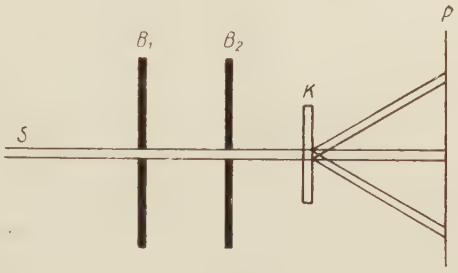


Abb. 3. Lauesche Anordnung zur Untersuchung von Röntgenstrahlinterferenzen.

einfache Spaltgitter. Aber es zeigt sich, daß auch eine solche räumliche Anordnung von Strukturelementen eine Beugungserscheinung liefern muß, wenn man eine Strahlung auf sie auffallen läßt, und zwar ist die Beugungserscheinung wieder abhängig von der Wellenlänge der auffallenden Strahlung und von dem gegenseitigen Abstand der Strukturelemente, hier also der Kristallatome. Die von v. Laue, Friedrich und Knipping benutzte Anordnung zur Untersuchung der Beugungserscheinung ist in Abb. 3 dargestellt. Der von der Röntgenröhre ausgehende Strahlenkegel trifft auf ein System von engen kreisförmigen Bleiblenden B_1 und B_2, die aus ihm ein dünnes Bündel ausblenden. Dieses trifft auf den Kristall K, etwa einen Steinsalzkristall, dessen eine Spaltfläche genau senkrecht gegen die Richtung des einfallenden Strahles gestellt ist. Die Beugungserscheinung wird auf der photographischen Platte P aufgenommen. Das Resultat ist, wenn der einfallende Röntgenstrahl ein Gemisch aus sehr vielen verschiedenen Wellenlängen ist, ein System von Flecken, wie es in Abb. 4 für einen wie oben beschrieben orientierten Zinkblendekristall wiedergegeben ist. Die Theorie dieser Erscheinung war von v. Laue gegeben worden und gestattete aus dem Diagramm die Wellenlänge der die einzelnen Flecken hervorrufenden Strahlen zu bestimmen. Die Gesetzmäßigkeit der Beugungserscheinung läßt sich am einfachsten beschreiben in einer Form, die von den englischen Physikern W. H. Bragg und W. L. Bragg, Vater und Sohn, herrührt und die in folgendem besteht: Betrachtet man in einem Kristall die Ebenen, die durch die Atome hindurchgelegt werden können, so erhält man in unserem Steinsalz-

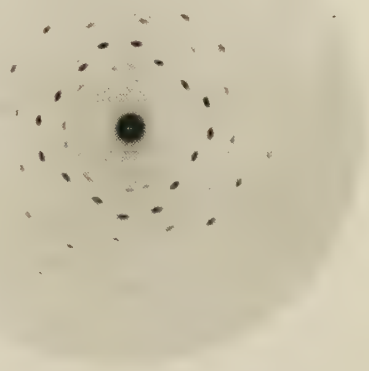


Abb. 4. Laue-Diagramm der Zinkblende.

kristall, Abb. 2, etwa die Ebenen 1, 2, 3, 4 oder 5, 6, 7, 8 oder 1, 9, 12, 4 oder 1, 9, 10, 2 usw. Die bisher angegebenen Ebenen sind parallel den Würfelflächen, die gleichzeitig den Spaltflächen des Steinsalzkristalls entsprechen. Man kann aber auch andere Ebenen durch die Atome des Kristalls legen; etwa 3, 4, 9, 10 oder 1, 9, 11, 3 oder 3, 4, 5, 6 usw. Man sieht sofort, daß von den hier betrachteten Ebenen diejenigen parallel den Spaltflächen am dichtesten mit Atomen besetzt sind. Zu jeder der angegebenen Atomebenen oder, wie man zu sagen pflegt, Netzebenen der Kristalle läßt sich eine Schar von Parallelebenen konstruieren, deren Abstand in jeder Schar einen ganz bestimmten Wert hat. Unter Benutzung dieses Netzebenenbegriffes läßt sich nun nach Bragg die Beugungserscheinung an einem solchen Kristall folgendermaßen beschreiben: Fällt ein Röntgenstrahl einer bestimmten Wellenlänge (R in Abb. 5) auf einen Kristall auf, in dem NN eine Schar von Netzebenen sein möge, so tritt in der Richtung nach B unter bestimmten Voraussetzungen ein abgebeugter Strahl auf. Es ist das dann der Fall, wenn der Winkel α, den der einfallende Strahl gegen die Netzebenenschar bildet, eine ganz bestimmte Beziehung gegen den Netzebenenabstand δ und die Wellenlänge λ des Strahles hat, wenn nämlich eine der Beziehungen erfüllt ist:

$$\lambda = 2d \,.\, \sin \alpha \text{ oder } 2\,\lambda = 2d \,.\, \sin \alpha \text{ oder } n \,.\, \lambda = 2d \,.\, \sin \alpha ,$$

wo n, die sogenannte Ordnungszahl, eine beliebige ganze Zahl ist, die die Werte 1, 2, 3 usw. haben kann, jedoch nicht groß werden kann. Wenn eine solche Beziehung erfüllt ist, dann tritt also am Kristall eine Erscheinung auf, die vollkommen wie eine regelmäßige Reflexion aussieht, bei der Einfalls- und Reflexionswinkel einander gleich sind. Bei gegebenem Kristall und gegebener Röntgenstrahlwellenlänge muß also der Strahl gegen den Kristall eine ganz bestimmte Einfallsrichtung haben, damit die Erscheinung auftritt. Bei gegebenem Kristall und gegebener Einfallsrichtung dagegen muß der einfallende Röntgenstrahl eine bestimmte Wellenlänge haben, damit die Reflexion eintreten kann. Sind in dem einfallenden Strahl viele Wellenlängen enthalten, so wird also von jeder Netzebenenschar diejenige Wellenlänge reflektiert, für die unsere Reflexionsbedingung erfüllt ist. Wir verstehen jetzt ohne weiteres das Ergebnis des Laueschen Versuches. Nehmen wir an, der Röntgenstrahl falle auf den Kristall der Abb. 2 senkrecht zur Fläche 1, 2, 3, 4 ein, so kann er an vielen Netzebenen des Kristalls reflektiert werden, wenn er die dafür nötigen Wellenlängen enthält. So ergibt die Reflexion an den Ebenen 3, 4, 9, 10; 2, 3, 12, 9; 1, 2, 11, 12 und 1, 4, 11, 10 vier Flecke, die symmetrisch um den einfallenden Strahl liegen, und weitere Flecke werden von den anderen Netzebenenscharen geliefert, wodurch sich das Bild der Abb. 4 ohne weiteres erklärt. Voraussetzung ist, wie schon erwähnt, daß sich im einfallenden Strahl alle Wellenlängen vorfinden, die für die vorhandenen Netzebenenabstände und Einfallswinkel erforderlich sind. Zur Herstellung eines Lauediagramms ist also ein Gemisch vieler Wellenlängen erforderlich. Wollen wir dagegen bei gegebenem Kristall eine bestimmte Netzebenenschar zur Reflexion einer bestimmten Röntgenstrahlwellenlänge benutzen, so müssen wir dem Strahl gegen den Kristall die richtige Einfallsrichtung geben, damit die Reflexion auftreten kann. Man pflegt diesen Winkel, der die Reflexion ermöglicht, den Glanzwinkel zu nennen.

Abb. 5. Reflexion von Röntgenstrahlen an Kristallnetzebenen.

Machen wir den Kristall um eine Axe A senkrecht zur Bildebene drehbar (Abb. 6), so wird bei einer kontinuierlichen Drehung aus der Stellung 1 in die Stellung 2 der

Winkel α andere und andere Werte annehmen, und die Reflexion wird bei derjenigen Stellung eintreten, für die dieser Winkel gerade den Wert des Glanzwinkels hat, der dieser Wellenlänge entspricht. Messen wir diesen Winkel, so wird bei bekannter Kristallkonstante d und bekannter Ordnungszahl n die Wellenlänge des Röntgenstrahls sich berechnen lassen. Benutzen wir einen Röntgenstrahl anderer Wellenlänge, so hat für diesen der Glanzwinkel einen anderen Wert. Ist also der einfallende Röntgenstrahl ein Gemisch verschiedener Wellenlängen, so wird bei der Drehung des Kristalls einmal der Glanzwinkel des einen, ein anderes Mal der des anderen Wellenlängenwertes erreicht werden. Nehmen wir etwa an, der einfallende Strahl sei aus den beiden Wellenlängen 1 und 2 zusammengesetzt (Abb. 7), so wird in der ersten Ordnung 1 etwa bei der Stellung SS der Kristallplatte allein reflektiert werden, während 2 nur bei der Stellung $S_1 S_1$ der Platte reflektiert werden kann. Auf einer bei PP aufgestellten photographischen Platte werden also zwei voneinander unabhängige Schwärzungen auftreten, die den beiden im ursprünglichen Strahl enthaltenen Wellenlängen entsprechen. Das im ursprünglichen Strahl vorhandene Wellenlängengemisch ist also in seine Bestandteile zerlegt worden, und aus der Lage der Schwärzungsstellen, durch die ja die Glanzwinkel bestimmt sind, kann die Wellenlänge dieser Elementarbestandteile bestimmt werden. Wir haben also hier durch den gedrehten Kristall dasselbe erreicht, was wir beim Licht durch einen Spektralapparat erreichen, und demnach auf diese Weise einen Spektralapparat für Röntgenstrahlen hergestellt. Wie schon angedeutet, sind diese Kristallspektralapparate deswegen für die Röntgenstrahlen so gut brauchbar, weil die Kristallkonstante d, der Netzebenenabstand, zur Größe der Röntgenwellenlängen in einem richtigen Verhältnis steht. Lichtstrahlenspektroskopie läßt sich mit solchen Kristallen nicht betreiben, weil die Lichtwellen im Verhältnis zu den Kristallkonstanten einen viel zu großen Wert haben.

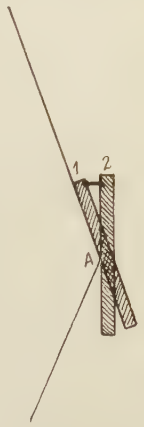


Abb. 6. Drehkristall zur Wellenlängenbestimmung.

Durch das Gelingen dieser Beugungsversuche ist nun sichergestellt, daß wir es bei den Röntgenstrahlen mit elektrischen Wellen zu tun haben, die den elektrischen Wellen, den Wärmestrahlen und den Lichtstrahlen wesensverwandt sind und sich von ihnen nur durch die Wellenlänge unterscheiden. Das Gebiet von den langwelligsten dieser Strahlen, den elektrischen Wellen, bis zu den kurzwelligsten, den Röntgenstrahlen, ist jetzt lückenlos bekannt. Die folgende Tabelle gibt die Zahlenwerte für die Wellenlängen der verschiedenen Bereiche, wobei die Grenzen natürlich fließend sind und nur ungefähr eine Abgrenzung geben sollen

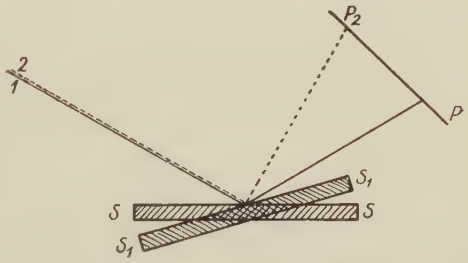


Abb. 7. Trennung von Strahlengemischen durch den Drehkristall.

1. Elektrische Wellen	Wellenlänge:	mehrere Kilometer bis 1 mm
2. Wärmestrahlen	„	1 mm bis 0,00072 mm (7200 AE.)
3. Lichtstrahlen	„	0,00072 mm bis 0,00039 mm (3900 AE.)
4. Ultraviolette Strahlen	„	0,00039 „ „ 0,000020 mm (200 AE.)
5. Röntgenstrahlen	„	0,00002 „ „ 0,00000001 mm (0,1 AE. u. weniger).

Die kurzwelligsten Röntgenstrahlen sind die γ-Strahlen der radioaktiven Substanzen, deren Wellenlänge noch nicht mit Sicherheit bestimmt ist.

II. Die praktischen Röntgenspektralapparate.

Die Methode des Drehkristalls ist von mehreren Forschern gleichzeitig zur Untersuchung der Röntgenspektren angewendet worden. Außer den beiden Bragg haben besonders de Broglie, Siegbahn und seine Schüler sowie Wagner u. a. diese Methode ausgebildet. Die Anordnung ist im wesentlichen immer so, daß die Strahlung der Röntgenröhre durch einen oder mehrere Spalte S_1 und S_2 (Abb. 8), die senkrecht zur Zeichenebene zu denken sind, ausgeblendet wird und auf den Kristall K auffällt, der durch ein Uhrwerk oder einen Motor in der Richtung des Doppelpfeiles hin und her geschwenkt wird. Bei P befindet sich die photographische Platte, auf der das Spektrum aufgenommen wird, oder auch der Spalt einer Ionisationskammer, so daß die Strahlung durch den in dieser auftretenden Ionisationsstrom gemessen wird. Der ganze Apparat ist zur Vermeidung falscher Strahlung mit einem Bleimantel M umgeben. Zur Untersuchung sehr weicher Röntgenstrahlen, die von der Luft schon stark absorbiert werden, ist in manchen Fällen der Apparatso eingerichtet worden, daß er luftleer gepumpt werden kann. Dann muß natürlich auch der Luftraum zwischen Röntgenröhre und Spektralapparat vermieden werden, und die Röntgenröhre wird dann von dem Apparat nur durch ein ganz dünnes Aluminiumfenster, das in die Wand der Röhre eingesetzt ist, getrennt an den Spektralapparat angebaut. Das Röntgenrohr ist dann natürlich auch speziell für diesen Zweck eingerichtet. Wir können aber auf eine Beschreibung dieser Spezialröntgenröhren, da sie für medizinische Zwecke bisher keine Verwendung gefunden haben, hier verzichten.

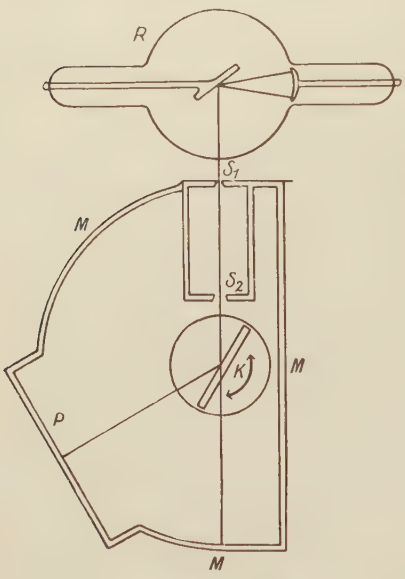


Abb. 9. Röntgenspektrograph nach der Drehkristallmethode.

Eine abgeänderte Form des Spektrographen ist von Seemann angegeben worden. Dabei ist auf die Kristallplatte KK (Abb. 9) eine Bleischneide S aufgesetzt. Fällt nun das nicht durch eine Blende begrenzte Röntgenstrahlbündel links ein und ist die Strahlenquelle nicht punktförmig, sondern ausgedehnt, so wird die Stelle des Kristalls, an der sich die Schneide befindet, von einem konvergenten Strahlenbündel getroffen. Auf den Kristall fallen also Strahlen mit verschiedenen Einfallswinkeln auf. Liegen nun die Glanzwinkel der verschiedenen in dem einfallenden Strahlengemisch vorhandenen Einzelwellen innerhalb des durch das einfallende Büschel gebildeten Winkelraumes, wie es in Abb. 9 für die Strahlen 1 und 2 angenommen ist, so wird bei der Reflexion jede Welle den für sie geeigneten Reflexionswinkel vorfinden und das Spektrum 1, 2 wird auf der Platte PP entstehen, ohne daß eine Drehung des Kristalls erforderlich ist. Im allgemeinen wird aber auch hier das einfallende Büschel nicht so stark konvergent sein, daß es alle charakteristischen Reflexionswinkel enthält, und dann muß auch hier eine Hin- und Herschwenkung vorgesehen werden, wobei aber das System Kristall-Schneide-Platte gegeneinander fest bleibt. Es wird also hier der ganze Spektralapparat gegen die Einfallsrichtung der Röntgenstrahlen geschwenkt. Diese „Schneidenmethode" ist von Seemann für den Bau verhältnismäßig einfacher Spektralapparate verwendet worden.

Eine etwas andere, ebenfalls von Seemann herrührende Methode der Kristallspektrographie ist die sog. Lochkameramethode. Bei ihr trifft ebenfalls das Röntgenstrahlbündel, ohne durch Blenden begrenzt zu sein, auf den Kristall K auf (Abb. 10). Während der Kristall bei der Schneidenmethode sehr klein sein kann, muß er hier eine ziemliche Längenausdehnung haben. Die Strahlenrichtung ist in der Abbildung durch die Pfeile angedeutet. Der Spalt S, der hinter dem Kristall angebracht ist, läßt nur die Strahlen hindurch, die unter dem Glanzwinkel auf den Kristall auftreffen, der hier durch die Verbindung des Spaltes mit einem Punkt der Kristalloberfläche bestimmt ist. Für eine bestimmte Röntgenwellenlänge wird etwa ein Punkt A der Kristalloberfläche in seiner Verbindung mit der Spaltöffnung S gegen die Kristalloberfläche den richtigen Glanzwinkel haben, so daß ein aus der Richtung 1 kommender Röntgenstrahl, der mit der Kristalloberfläche den gleichen Winkel bildet und der diese Wellenlänge enthält, durch den Spalt S hindurchreflektiert wird und zur photographischen Platte P gelangt. Eine andere Wellenlänge wird auf diese Weise etwa den Strahlenweg 2 B S 2 zurücklegen, so daß die Spur für diese, in unserem Falle als größer angenommene Wellenlänge auf der photographischen Platte oberhalb der anderen zu liegen kommt. Wir erhalten also auch bei dieser Anordnung auf der photographischen Platte ein Spektrum des

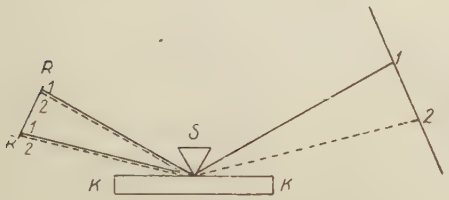


Abb. 8. Seemannsche „Schneidenmethode".

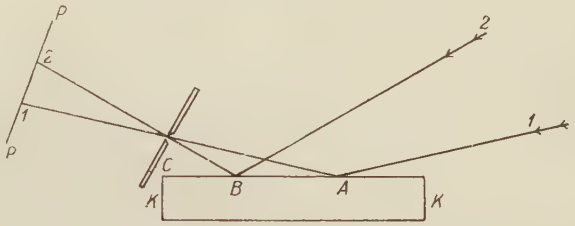


Abb. 10. Seemannsche „Lochkameramethode".

Strahlengemisches. Auch hier sind die einzelnen Teile des Spektrographen, Kristall, Spalt und Platte gegeneinander fest angeordnet, und nur die Einfallsrichtung der Strahlen gegen den Apparat muß so variiert werden, daß alle in Betracht kommenden Glanzwinkel als Einfallswinkel gegen den Kristall wirklich erreicht werden. Man bewirkt das am besten dadurch, daß man den ganzen Apparat um eine in der Kristalloberfläche liegende, senkrecht zur Zeichenebene zu denkende Achse C hin und her schwenkt. Dieses letztere Prinzip der Lochkameramethode wird von Seemann für seine Spektrographen für medizinisch-praktische Zwecke angewendet. Eine Ansicht eines solchen Seemannschen Spektrographen ist in Abb. 11 gegeben. Der Kristall befindet sich in dem der Röntgenröhre zugewendeten vorderen Teile E des Apparates. Dahinter liegt der Spalt und dann folgt die Kamera A, die bei W die photographische Platte trägt. Im Teile C befindet sich das Uhrwerk, das die Schwenkung um die Achse D besorgt. Ein Visier Vv gestattet schließlich, dem Apparat die richtige Richtung gegen den Brennfleck der Röntgenröhre zu geben.

Ein wieder etwas anderes Prinzip, das sich an eine röntgenspektroskopische Methode von Rutherford und da Andrade anlehnt, ist von March, Staunig und Fritz zur Konstruktion ihres Spektroskopes verwendet worden. Die Methode von Rutherford und da Andrade beruht darauf, daß in einem Kristall auch die inneren Netzebenen zur Reflexion verwendet werden können. Denken wir uns eine Röntgenstrahlenquelle R (Abb. 12) und einen Steinsalzkristall K frontal der Strahlenquelle gegenübergestellt, so werden, da von der Strahlenquelle die Strahlen divergent ausgehen, die durch die

Schraffierung angedeuteten Netzebenen des Kristalls unter allen möglichen Winkeln getroffen. Für eine bestimmte Röntgenstrahlwellenlänge wird nun der Strahl RA gerade unter dem Glanzwinkel auftreffen. Wird nun bei BB eine Blende mit einem Spalt S aufgestellt, so wird auf der photographischen Platte bei C eine Schwärzung auftreten. Für eine andere Wellenlänge hat etwa der Strahl RA′ den für die Reflexion nötigen Einfallswinkel, und das Bild für diesen Strahl entsteht auf der Platte bei C′. Die Erscheinung tritt natürlich auf beiden Seiten des Zentralstrahls symmetrisch auf. Bei dieser sog. Transmissionsmethode von Rutherford und da Andrade steht wieder

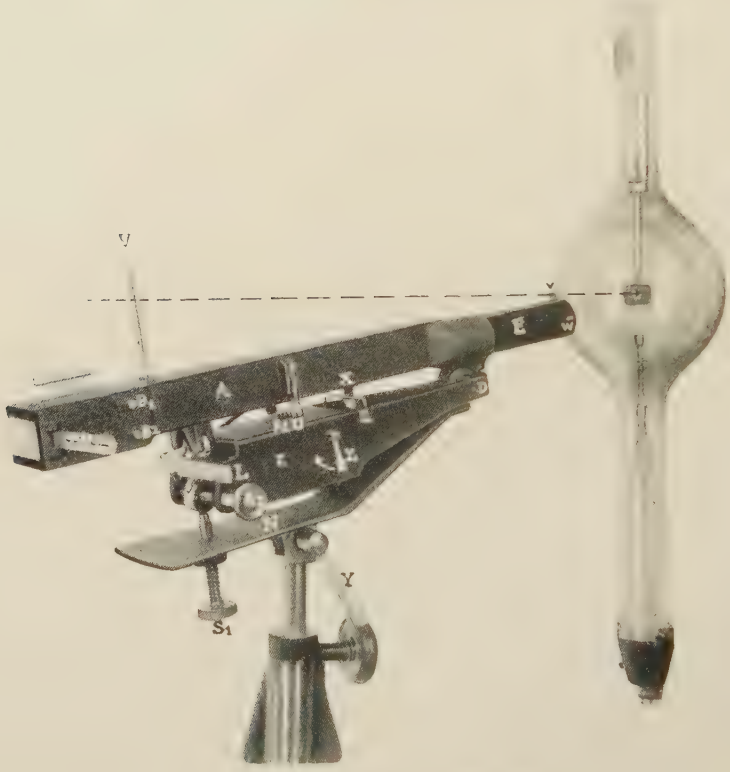


Abb. 11. Seemannscher Spektrograph.

der Kristall fest. Sie ist besonders für kurzwellige Röntgenstrahlen brauchbar und ist von den genannten Forschern zur Wellenlängenbestimmung an Gammastrahlen radioaktiver Substanzen benutzt worden.

Die gleiche Methode des gegen die Strahlenrichtung frontal gestellten Kristalls benutzen March, Staunig und Fritz für ihr Röntgenspektrometer. Während aber in der vorhin beschriebenen Anordnung das einfallende Röntgenstrahlenbündel nicht durch Blenden begrenzt ist, wird bei diesem Apparat ein schmales Röntgenstrahlbündel durch Spalte $B_1 B_2$ (Abb. 13) ausgeblendet und trifft so auf den dünnen Steinsalzkristall K von etwa 0,8 bis 1,5 mm Dicke, der, wie schon erwähnt, frontal durchstrahlt wird. Der Kristall ist hier um eine Achse senkrecht zur Strahlenrichtung und parallel zur Spaltrichtung drehbar, so daß bei einer Drehung sich der Winkel des einfallenden Bündels gegen die in der Abbildung schraffiert gezeichneten inneren Netzebenen verändern läßt.

In der Stellung KK trifft das einfallende Strahlenbündel auf die für die Reflexion in Betracht kommenden, durch die Schraffur angedeuteten Netzebenen streifend auf. Bei einer Drehung des Kristalls, die hier von Hand bewirkt wird, ändert sich der Winkel des Bündels gegen die Netzebenen kontinuierlich, und diejenige Wellenlänge, für die der Winkel der Glanzwinkel wird, kann reflektiert werden. Auf dem Fluoreszenzschirm FF wird sie als schmale Linie erscheinen, deren Lage durch einen mit Leuchtfarbe bestrichenen Zeiger eingestellt werden kann. Der Apparat ist insbesondere dafür eingerichtet, die kürzeste der im einfallenden Bündel vorhandenen Wellenlängen einzustellen. Wir werden die Bedeutung dieser kürzesten Wellenlänge später noch zu besprechen haben. Die kürzeste Wellenlänge erscheint auf dem Fluoreszenzschirm als die dem direkten Durchstoßungspunkte O, der bei dem Apparat jedoch abgeblendet ist, am nächsten liegende, während die längeren Wellenlängen weiter von ihm entfernt liegen. Die Entfernung von O ist

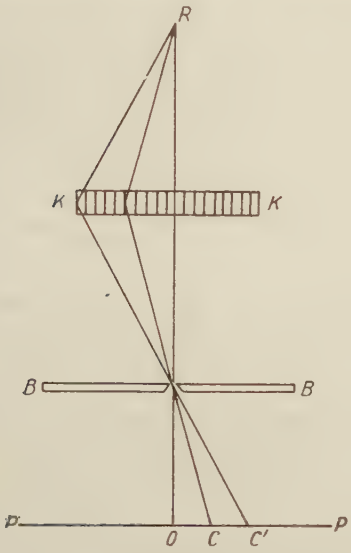


Abb. 12. Transmissionsmethode von Rutherford und da Andrade

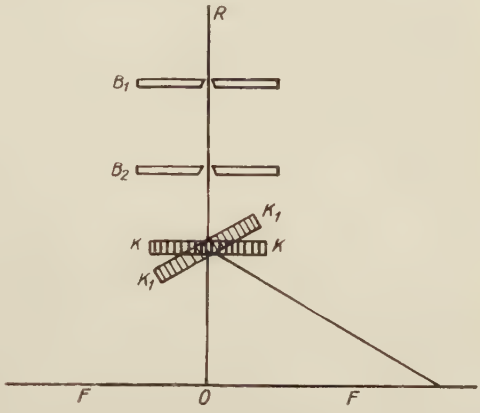


Abb. 13. Transmissionsmethode von March, Staunig und Fritz.

ein Maß für die Wellenlänge dieser kurzwelligsten Strahlung, oder, da bei einer Drehung des Kristalls nach der anderen Seite die Erscheinung vollkommen symmetrisch auftritt, ist auch der Abstand zwischen den beiden Grenzstellungen, bei denen gerade noch eine Fluoreszenzlinie sichtbar ist, ein Maß für die kürzeste im einfallenden Strahlenbündel vorhandene Wellenlänge. Man sieht sofort, daß der Winkel zwischen diesen beiden Grenzstrahlen gleich dem vierfachen Glanzwinkel sein muß, da bei einer Drehung des Kristalls um einen bestimmten Winkel der reflektierte Strahl sich um den doppelten Winkel dreht und dieser doppelte Winkel auf beiden Seiten vorhanden ist. In der Abb. 14 ist die technische Ausführung des Apparates von March, Staunig und Fritz abgebildet. Der Einfallsspalt des Apparates befindet sich am vorderen Ende, der Kristall steht in der Mitte des Apparates und ist durch Dreheinrichtung und die Mikrometerschraube KM verstellbar. Zwei Leuchtmarken lassen sich auf die nach beiden Seiten auftretenden Grenzstellungen für die kürzesten Wellenlängen einstellen, und die Teilung gestattet die direkte Ablesung der zugehörigen Wellenlänge in Angströmschen Einheiten. Zur Verfeinerung der Einstellgenauigkeit ist bei dem abgebildeten Apparat noch die Möglichkeit der photographischen Aufnahme der Grenzstellung gegeben. Die subjektive Ablesung gestattet nämlich die Messung nur dann zuverlässig, wenn die Intensität der Strahlung einen bestimmten Wert überschreitet. Für die Feststellung der

kurzwelligen Grenze müssen aber auch etwa noch vorhandene Strahlen geringerer Intensität in Betracht gezogen werden. Es ist deshalb an dem Apparat die Einrichtung getroffen, daß der Kristall in eine Stellung meßbar schreitet. Für die Feststellung der kurzwelligen Grenze müssen aber auch etwa noch vorhandene Strahlen geringerer Intensität in Betracht gezogen werden. Es ist deshalb an dem Apparat die Einrichtung getroffen, daß der Kristall in eine Stellung meßbar gebracht werden kann, in der er die beobachtete kürzeste Wellenlänge und ein unmittelbar daran anschließendes noch kurzwelligeres Gebiet reflektiert. Wird etwa die Grenzwellenlänge zu 0,10 AE. gemessen, aber das Vorhandensein noch kürzerer Wellen vermutet, so gibt man mit Hilfe der Mikrometerschraube KM die an einer Teilung ablesbare Stellung, daß er die Wellen zwischen 0,1 und 0,09 AE. reflektiert. Auf einem Film wird dann diese Stellung photo-

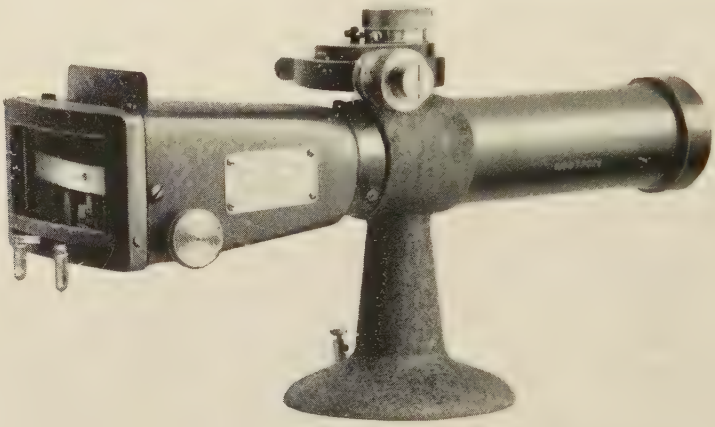


Abb. 14. Röntgenspektrometer von March, Staunig und Fritz.

graphiert, und man kann so auch das Vorhandensein kürzerer Wellen geringer Intensität nachweisen. Die so erreichbare Genauigkeit der Grenzwellenlängenbestimmung soll 0,002 AE. betragen. Die in der Abbildung ferner sichtbare Öffnung V dient zur Einvisierung des Apparates auf den Brennfleck der Röntgenröhre. Nach der Einstellung wird diese direkte Verbindung zur Röhre durch Drehung des Kopfes D abgeblendet.

III. Das kontinuierliche Röntgenspektrum.

Wir gehen nun dazu über, die Ergebnisse der Röntgenspektroskopie zu betrachten, soweit sie für die Medizin von Interesse sind.

Die von einer Röntgenröhre gelieferte Strahlung setzt sich zusammen aus zwei grundsätzlich voneinander verschiedenen Teilen: dem kontinuierlichen Spektrum und dem charakteristischen Spektrum des Antikathodenmaterials. Beide sind natürlich nicht voneinander zu trennen und einander überlagernd immer gleichzeitig vorhanden. Trotzdem wollen wir sie hier getrennt voneinander behandeln.

Das kontinuierliche Spektrum ist vergleichbar dem im optischen Gebiet bekannten Spektrum eines glühenden festen oder flüssigen Körpers. Wenn man etwa das Licht einer gewöhnlichen elektrischen Glühlampe spektral zerlegt, so findet man ein Spektrum, das in kontinuierlichem Übergang alle Wellenlängen eines bestimmten Spektralbereiches enthält. Dabei sind aber die Intensitäten der verschiedenen Wellenlängen nicht gleich.

Wenn man vielmehr ein feines Thermometer durch das Spektrum hindurchführt, so ist die Erwärmung im Anfang gering, erreicht ein Maximum und sinkt dann wieder ab. Für das Licht unserer Sonne etwa liegt dieses Maximum im Bereiche des grünen Lichtes. Eine ähnliche Beziehung finden wir im kontinuierlichen Röntgenspektrum. Man kann die Intensitäten der verschiedenen Röntgenwellenlängen dadurch bestimmen, daß man in das von einem der oben beschriebenen Apparate erzeugte Röntgenspektrum einen feinen Spalt bringt, der die Einfallsöffnung einer Ionisationskammer bildet. Dann wird die Ionisierung in dieser Kammer nur von den Röntgenstrahlen eines engen Wellenlängenbereiches bewirkt, der abhängig ist von der Stärke der Trennung, die der Spektralapparat für die verschiedenen Wellenlängen besitzt, und von der Breite des Spaltes der Ionisationskammer. Würden nun durch den Spektralapparat alle in dem einfallenden Büschel enthaltenen Wellen ohne Schwächung in das Spektrum auseinandergezogen oder würden, wenn eine Schwächung einträte, alle um den gleichen Bruchteil geschwächt, so hätte man in der Stärke des Ionisationsstromes ein Maß für die Intensität der Strahlung an jeder Stelle des Spektrums, wenn gleichen Intensitäten in verschiedenen Spektralbereichen gleiche Ionisationsströme entsprächen. In Wirklichkeit ist weder die im Spektrum eines Kristallspektrographen auftretende Intensitätsverteilung ein Maß für die im primären Strahlenbündel vorhandene, noch entspricht in einer Ionisationskammer gleicher Ionisation eine gleiche Intensität, wenn die Wellenlänge der Strahlung nicht die gleiche ist. Es ist deshalb nicht leicht, die Gesetzmäßigkeiten der Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Röntgenspektrum mit der gleichen Sicherheit zu bestimmen wie im optischen Gebiet. Es gehören eine Menge Vorarbeiten dazu, um die genannten Einflüsse zu eliminieren. Wagner und Kulenkampff haben den entstellenden Einfluß des Kristallspektrographen auf die Intensitätsverteilung im Spektrum studiert. Die Wellenlängenabhängigkeit der Ionisationswirkung ist durch genaue Messungen der Luftabsorption und durch Energiemessungen an Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge untersucht worden, aber man kann noch nicht sagen, daß die Gesetzmäßigkeiten des kontinuierlichen Röntgenspektrums mit voller Sicherheit bekannt sind. Eine genauere Diskussion der Ionisationsmessungen findet sich in einer besonderen Abhandlung über diesen Gegenstand.

Sicher festgestellt ist jedoch eine Gesetzmäßigkeit, die von den amerikanischen Physikern Duane und Hunt zuerst aufgefunden wurde und nach ihnen als Duane-Huntsches Gesetz bezeichnet wird. Die Gesetzmäßigkeit besteht darin, daß das kontinuierliche Spektrum an seinem kurzwelligen Ende nicht ein allmähliches Verlaufen zur Intensität Null zeigt, sondern daß an diesem Ende ein ganz plötzlicher Abfall zum Nullwert eintritt, dessen Wellenlänge exakt gemessen werden kann. Dadurch unterscheidet sich dieses kontinuierliche Spektrum im Röntgengebiet grundsätzlich von dem kontinuierlichen Spektrum weißer Lichtquellen des optischen Gebietes, bei denen dieser Abfall auch an der kurzwelligen Grenze ganz allmählich vor sich geht, so daß eine genaue Wellenlänge des Endes nicht angegeben werden kann. Diese scharfe kurzwellige Grenze des kontinuierlichen Spektrums im Röntgengebiet hängt eng zusammen mit der Größe der die Röntgenstrahlen erzeugenden Spannung. Es gilt hier die Einsteinsche Quantenbeziehung

$$e \cdot V = h \cdot \nu,$$

wo e die Ladung des Elektrons, V die erzeugende Spannung und ν die Schwingungszahl dieser kurzwelligen Grenze ist, die mit der Wellenlänge λ durch die Beziehung verbunden ist

$$\nu = c/\lambda,$$

wo c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet.

Diese Quantenbeziehung läßt sich, wenn man die an der Röntgenröhre liegende Spannung in Kilovolt und die Wellenlänge in Angströmeinheiten mißt, in der einfachen Form schreiben:

$$V\ (\text{Kilovolt}) \cdot \lambda\ (\text{Angströmeinheiten}) = 12{,}34$$

oder

$$\lambda = \frac{12{,}34}{V}.$$

Erzeugt man die Röntgenstrahlen etwa mit einer Spannung von 100 KV., wobei natürlich die Spitzenspannung, nicht etwa die bei Wechselströmen auch häufig angegebene Effektivspannung gemeint ist, so liegt die kurzwellige Grenze des erzeugten kontinuierlichen Röntgenspektrums bei

$$\lambda = \frac{12{,}34}{100} = 0{,}1234\ \text{AE}.$$

Oder umgekehrt, liegt spektrographisch bestimmt die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei dieser Wellenlänge, so wissen wir, daß die erzeugende Maximalspannung 100 KV gewesen sein muß. Das gilt ganz unabhängig von dem Material, aus dem die Antikathode der Röhre besteht.

In der folgenden Tabelle, die von Küstner herrührt, ist die zu einer bestimmten Spektrographenablesung des kurzwelligen Endes im Röntgenspektrum zugehörige Röhrenspannung in Kilovolt angegeben, und gleichzeitig sind die Fehler in der Spannungsmessung eingetragen, die man macht, wenn man in der Ablesung einen Fehler von 0,002, 0,005 und 0,010 AE. begeht.

Tabelle 1.

Grenzwellenlänge	Kilovolt	Fehler in Kilovolt bei einem Ablesefehler		
		0,002 AE.	0,005 AE.	0,010 AE.
0,40	31	0,15	0,39	0,77
0,30	41	0,27	0,69	1,37
0,20	61	0,62	1,54	3,08
0,15	82	1,09	2,73	5,46
0,10	123	2,46	6,15	12,3
0,09	137	3,08	7,60	15,2
0,08	154	3,84	9,61	19,2
0,07	176	5,03	12,5	25,1
0,06	205	6,83	17,1	34,2
0,05	246	9,84	24,6	49,2
0,04	308	15,4	28,4	77,0

Man sieht aus der Tabelle, daß, wenn man eine Genauigkeit von 5% in der Spannungsmessung anstrebt, für die höchsten Spannungen die Ablesegenauigkeit von 0,002 AE. erforderlich ist, wenn man die ganz hohen Spannungen über 250 KV., die für die Praxis bisher nicht in Betracht kommen, außer acht läßt. Kann man diese Genauigkeit erreichen, so hat man also die Möglichkeit, auf spektroskopischem Wege eine Messung der wirklich an der Röhre liegenden Spannung auszuführen, indem man mit einem geeigneten Spektralapparat nur die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Spektrums nach der kurzwelligen Seite zu bestimmen braucht.

Im Gegensatz zum kurzwelligen verläuft das langwellige Ende des kontinuierlichen Spektrums ganz allmählich, so daß eine bestimmte Grenze hier nicht anzugeben ist. Der Verlauf des kontinuierlichen Spektrums nach der langwelligen Seite erleidet überdies noch eine Fälschung durch die Überlagerung der höheren Ordnungen des Beugungs-

spektrums. Wir hatten ja bei der Besprechung der Theorie der Röntgenspektralapparate gesehen, daß bei gegebener Kristallkonstante und gegebener Wellenlänge noch mehrere Werte des Glanzwinkels möglich sind entsprechend den verschiedenen Werten von n in der Formel

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \alpha.$$

Ist also etwa eine bestimmte Wellenlänge bei einem bestimmten Winkelwert von α erschienen, dem ein bestimmter Wert des Sinus entspricht, so wird sie bei dem Werte, für den der Sinus doppelt so groß ist, wieder erscheinen. Im kontinuierlichen Spektrum muß also von dem Werte des Reflexionswinkels an, dessen Sinus doppelt so groß ist wie der Sinus des der kurzwelligen Grenze entsprechenden Winkels, das Spektrum der zweiten Ordnung sich über das der ersten Ordnung überlagern. Das ist zu berücksichtigen, wenn man aus dem im Spektrographen erhaltenen Spektrum die Intensitätsverhältnisse dieses Spektrums auswerten will. Der allgemeine Verlauf der Intensität im kontinuierlichen Röntgenspektrum ist nun in Abb. 15 dargestellt. Man sieht, daß vom kurzwelligen Ende die Intensität zu einem Maximum ansteigt, um dann wieder abzunehmen. Das gilt für alle Spannungen. Die Abbildung zeigt den Verlauf für drei verschiedene Spannungen an. Jede Kurve, die einer niedrigeren Spannung entspricht, verläuft ganz innerhalb der Kurve höherer Spannung.

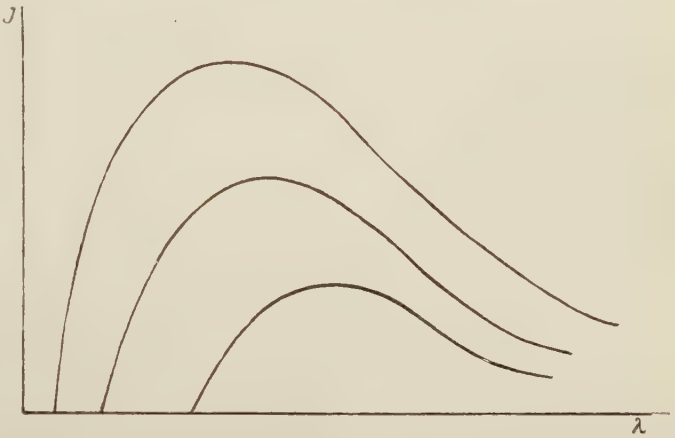


Abb. 15. Intensitätsverlauf im kontinuierlichen Röntgenspektrum für drei Röhrenspannungen.

Bei höherer Spannung rückt gleichzeitig mit der kurzwelligen Grenze auch das Maximum nach kürzeren Wellen. Die Lage des Maximums läßt sich aus der Lage der kurzwelligen Grenze angenähert errechnen. Es ist annähernd

$$\lambda_{max} = \lambda_0 \cdot 1{,}5,$$

wo der Index max die Wellenlänge des Maximums und der Index 0 die der kurzwelligen Grenze bezeichnet. Streng gilt diese Formel nicht, in Wirklichkeit spielt auch das Antikathodenmaterial eine Rolle, indem für ein Element höherer Ordnungszahl bei sonst gleichen Bedingungen das Maximum etwas nach kürzeren Wellen liegt. Stark abhängig vom Antikathodenmaterial ist aber die Intensität des kontinuierlichen Spektrums. Sie wächst mit zunehmender Ordnungszahl des Antikathodenmaterials mit der Ordnungszahl proportional an. In einer Röhre mit Molybdänantikathode würde, da das Molybdän die Ordnungszahl 42 besitzt, die Intensität des kontinuierlichen Spektrums etwa 6/11 von der in einer Röhre mit Platinantikathode unter sonst gleichen Bedingungen sein, da Platin die Ordnungszahl 78 hat. Die Abhängigkeit der Gesamtintensität des kontinuierlichen Spektrums von der Spannung scheint eine quadratische zu sein, so daß also die Gesamtstrahlung bei der doppelten Spannung den vierfachen Wert haben würde. Das Wachstum der Gesamtintensität von der Spannung bei einer in der medizinischen Röntgentechnik gebräuchlichen Röhre bei Beobachtung außerhalb

der Röhrenwand ist aber noch schneller, da bei zunehmender Spannung ein immer größerer Teil der Strahlung wirklich aus der Röhre herauskommt im Verhältnis zu dem Teil, der in der Rohrwand absorbiert wird.

Das kontinuierliche Spektrum zeigt schließlich nach Untersuchungen von Friedrich, Wagner u. a. noch eine Richtungsabhängigkeit, indem in den verschiedenen Richtungen gegen die Richtung Kathode-Antikathode die spektrale Energieverteilung etwas verschieden ist. Die Lage der kurzwelligen Grenze erweist sich jedoch als unabhängig von der Beobachtungsrichtung.

Was nun die Verwendung der Spektroskopie des kontinuierlichen Röntgenspektrums in der medizinischen Praxis angeht, so ist in neuerer Zeit besonders die Bestimmung der kurzwelligen Grenze dieses Spektrums praktisch benutzt worden, um die Röhrenspannung zu bestimmen. Von technisch eingeführten Spektralapparaten werden zu diesem Zwecke hauptsächlich der Seemannsche Spektrograph und derjenige von March, Staunig und Fritz benutzt. Von Küstner sind diese spektroskopischen Methoden einer Kritik mit Bezug auf ihre Genauigkeit unterzogen worden. Insbesondere am Seemannspektrograph hat er solche Untersuchungen angestellt und kommt zu dem Resultat, daß die Genauigkeit der Bestimmung der Grenzwellenlänge durch solche Spektrogramme besonders bei hohen Spannungen ungenügend sei. Der Fehler bei Einzelmessungen wird mit maximal 23% bei diesen hohen Spannungen angegeben, was in der Tat eine durchaus ungenügende Genauigkeit darstellt. Mittelwerte aus verschiedenen Aufnahmen ergeben jedoch einen mittleren Fehler von etwa 5%. Die Genauigkeit des Apparates von March, Staunig und Fritz wird geringer eingeschätzt, ohne daß Versuche darüber mitgeteilt werden. Demgegenüber ist die Genauigkeit, die Seemann bzw. March, Staunig und Fritz für ihre Apparate mitteilen, eine viel größere. Nun scheint mir eine einzelne nicht gut ausgefallene Spektralaufnahme zwar einen großen Fehler in der Ablesung der kurzwelligen Grenze liefern zu können, besonders wenn die Expositionsdauer etwas gering ausgefallen ist. Damit wird dann die Spannungsbestimmung fehlerhaft ausfallen. Ein Fehler in der Spannungsbestimmung bis zu 5% scheint mir aber noch durchaus erträglich zu sein, und da sich eine solche Genauigkeit durch Mittelbildung mit Sicherheit erreichen läßt, so möchte ich mich dem scharfen Urteil von Küstner nicht anschließen. Die spektroskopische Methode ist ja überhaupt die einzige, die für den Praktiker eine einigermaßen sichere Spannungsmessung in absolutem Maße gestattet, und deshalb möchte ich doch den Wert dieser Spektralmessungen recht hoch einschätzen. Die Möglichkeit, zu jeder Zeit die Spannungsangaben des Kilovoltmeters bei allen Betriebsverhältnissen kontrollieren zu können, scheint mir um so wichtiger, als sie gerade bei starker Stromentnahme gar nicht mehr der wirklich an der Röhre liegenden Spannung zu entsprechen brauchen, selbst wenn sie unter anderen Bedingungen richtig sind. Das gilt besonders für die modernen Gleichspannungsapparate, bei denen die Angaben der Kilovoltmeter überhaupt völlig versagen und bei denen nach neueren Untersuchungen von Iona eine sehr erhebliche Spannungsabhängigkeit von der Belastung vorhanden ist. Die wirklich an der Röhre liegende Spannung durch mehrere Spektralaufnahmen bis auf etwa 5% Genauigkeit bestimmen zu können, ist ein Vorteil, der auch für den Praktiker Grund genug sein sollte, sich der spektroskopischen Methoden zu bedienen, ganz abgesehen davon, daß jedes Hilfsmittel, das die wirkliche Erkenntnis fördert, und dem Schematismus in der Handhabung fertiger Apparaturen entgegenwirkt, immer nur von Nutzen sein kann. Als ein solches Hilfsmittel muß aber meines Erachtens das Spektroskop durchaus bezeichnet werden. Daß die Genauigkeit der subjektiven Methode von March, Staunig und Fritz etwas geringer sein wird als die der objektiven Methoden, besonders wenn es sich um das

Gebiet hoher Temperaturspannungen handelt, ist wohl zuzugeben. Wieweit die Photographie der Endstellung die Genauigkeit wieder verbessert, kann ich ohne eigene Versuche in dieser Hinsicht nicht übersehen. Nicht zweckmäßig erscheint es mir jedoch, nun alle Messungen an Röntgenstrahlen auf die spektroskopische Methode aufbauen zu wollen. Wenn es auch wohl richtig ist, daß bei verschiedenen Betriebsverhältnissen, wie March angibt, das kontinuierliche Spektrum bei gleicher Lage der kurzwelligen Grenze ungefähr den gleichen Verlauf hat, so daß bei gleicher Filterung und gleicher Feldgröße bei gegebener kurzwelliger Grenze über die Durchdringungsfähigkeit der Strahlung Schlüsse gezogen werden können, so scheint mir doch die Notwendigkeit von Phantommessungen nicht zu entfallen, schon deshalb nicht, weil eben das kontinuierliche Spektrum nicht allein in Betracht kommt und Antikathodenmaterial und Material des Röhrenglases oder auch Fehler in der Zusammensetzung und Dicke des Filtermaterials eine erhebliche Rolle spielen können und deshalb eine direkte Messung immer einer indirekten vorzuziehen bleibt."

IV. Das charakteristische Spektrum der Antikathode.

Wie schon erwähnt, tritt neben dem kontinuierlichen Spektrum in jeder Röntgenröhre das sog. charakteristische Spektrum des Antikathodenmaterials auf, das im Gegensatz zum kontinuierlichen Spektrum nicht nur der Intensität, sondern auch der Qualität nach wesentlich vom Antikathodenmaterial abhängig ist. Diese Erscheinung, die im Anschluß an Untersuchungen von Barkla zuerst von Kaye festgestellt wurde, ehe die Spektroskopie der Röntgenstrahlen bekannt war, ist hauptsächlich durch Arbeiten von Moseley unter Benutzung des Kristallspektroskops aufgeklärt worden. Es handelt sich bei diesen charakteristischen Spektren um eine vollkommene Analogie zu den Linienspektren im optischen Gebiet. So zeigt ja bekanntlich die mit Kochsalz gefärbte Bunsenflamme im Spektroskop die beiden im Gelben dicht nebeneinanderliegenden Linien, die dem Natrium eigentümlich sind, und deren Anwesenheit immer die Gegenwart von Natrium verrät. Ebenso zeigen sich also im Röntgenstrahlengebiet in dem Spektrum einer Röntgenröhre eng begrenzte Wellenlängengebiete, die dem Antikathodenmaterial der verwendeten Röntgenröhre eigentümlich sind. Um die Abhängigkeit der charakteristischen Strahlung von der Natur des Antikathodenmaterials zu verstehen, müssen wir wieder die Anordnung der Elemente im periodischen System heranziehen. Diese Anordnung ist in der folgenden Tabelle 2 dargestellt. Ordnet man die Elemente nach steigendem Atomgewicht und schreibt sie, wie es in der Tabelle geschehen ist, so untereinander, daß in den Vertikalreihen Elemente mit ähnlichem chemischen Verhalten untereinander zu stehen kommen, so kommt man unter Mitzählung der Lücken, die durch das besprochene Untereinanderschreiben bedingt sind, zu 92 Elementen vom Wasserstoff bis zum Uran. An einigen Stellen, die in der Tabelle durch einen Doppelpfeil bezeichnet sind, muß dabei die Anordnung nach steigendem Atomgewicht abgeändert werden, wenn diese Ähnlichkeit des chemischen Verhaltens in den Vertikalreihen erhalten bleiben soll. So muß das Alkalimetall Kalium ganz zweifellos unter dem Alkalimetall Natrium stehen, und das Edelgas Argon gehört unter das Edelgas Neon, und in der Tabelle muß somit das Argon vor dem Kalium stehen, obwohl das Atomgewicht des Argons etwas höher ist als das des Kaliums, wie man aus den unter den Symbolen der Elemente stehenden Zahlen sieht, die die jetzt angenommenen Atomgewichte darstellen. Dasselbe gilt für die Aufeinanderfolge Tellur—Jod, die notwendig ist, damit das Haloid Jod unter das Haloid Brom zu stehen kommt und die wieder die Anordnung nach steigendem Atomgewicht durchbricht. Ebenso ist es mit Kobalt-

Tabelle 2. Periodisches System der Elemente.
Die Zahlen vor den Symbolen der Elemente bedeuten die Ordnungzahlen, die darunterstehenden die Atomgewichte. (Nach Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1 · H 1.008							2 · He 4,00
2	3 Li 6,94	4 Be 9,1	5 B 11,0	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,0	10 Ne 20,2
3	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 A ← 39,88
4	19 K 39,10 29 Cu 63,57	20 Ca 40,07 30 Zn 65,37	21 Sc 44,1 31 Ga 69,9	22 Ti 48,1 32 Ge 72,5	23 V 51,0 33 As 74,96	24 Cr 52,0 34 Se 79,2	25 Mn 54,93 35 Br 79,92	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,84 58,97 ↔ 58,68 36 Kr 82,92
5	37 Rb 85,45 47 Ag 107,08	38 Sr 87,83 48 Cd 112,40	39 Y 88,7 49 In 114,8	40 Zr 90,6 50 Sn 118,7	41 Nb 93,5 51 Sb 120,2	42 Mo 96,0 52 Te 127,5	43? ↔ 53 J 126,92	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9, 196,7 54 X 130,2
6	55 Cs 132,81 79 Au 197,2	56 Ba 137,37 80 Hg 200,6	Seltene Erden 81 Tl 204,0	72 Hf 82 Pb 207,2	73 Ta 181,5 83 Bi 208,0	74 W 184,0 84 Po 210.0	75? 85?	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2 86 Em 222,0
7	87? 	88 Ra 226,0	89 Ac 227	90 Th ↔ 232,15	91 Pa 230	92 U 238,2		

Nickel und Thorium-Palladium, wo auch die chemische Gesetzmäßigkeit die Vertauschung der Atomgewichtsfolge fordert. Man sieht daraus, daß nicht, wie man früher gemeint hat, das Atomgewicht das ordnende Prinzip im periodischen System der Elemente darstellt. An seine Stelle tritt vielmehr die Zahl, die das betreffende Element im so in Ordnung gebrachten periodischen System der Elemente einnimmt, die man, wie früher schon erwähnt, als die Ordnungszahl oder auch als die Atomnummer des betreffenden Elementes bezeichnet. Glücklicherweise können wir dieser Zahl, deren Bedeutung sonst unverständlich wäre, auch einen physikalischen Inhalt beilegen, der sich aus der modernen Atomtheorie ergibt, wie sie von Lenard, Rutherford, Bohr u. a. entwickelt worden ist und deren Richtigkeit wenigstens in den Hauptzügen heute wohl als erwiesen gelten kann. Danach ist ein jedes Atom als eine Art Planetensystem aufzufassen, bestehend aus einem Zentralkörper, der die Hauptmasse des Atoms trägt, und aus um ihn kreisenden negativ elektrisch geladenen Teilchen von immer gleicher Größe und elektrischer Ladung, die wir aus den verschiedensten Gebieten der Physik als Elektronen kennen. Sie spielen ja auch bei der Erzeugung der Röntgenstrahlen die fundamentale Rolle, indem ihr Aufprall auf die Antikathode der Röntgenröhre die Emission der Röntgenstrahlen bedingt. Der Kern ist positiv elektrisch geladen, und zwar muß beim elektrisch neutralen Atom diese Ladung ihrer Größe nach gleich der negativen Ladung der sämtlichen Elektronen des Atoms sein. Die elektrischen Anziehungskräfte zwischen dem positiven Kern und den negativen Elektronen halten das System zusammen. Die verschiedenen chemischen Atome unterscheiden sich nun durch die Anzahl der peripheren Elektronen und damit auch durch die Größe und die elektrische Ladung des Kerns. Die Ordnungszahl bekommt dann die Bedeutung, daß sie gleich der Elektronenzahl im neutralen Atom oder gleich der positiven Ladung des Kerns ist, wenn diese in Elektronenladungen als Einheit gemessen wird. Ordnungszahl

und Kernladung werden dadurch gleichbedeutend. Die Anordnung der peripheren Elektronen bedingt im wesentlichen das chemische Verhalten des Atoms, und die Periodizität im chemischen Verhalten in der Reihe der Elemente rührt von Ähnlichkeiten in der Anordnung der jeweils äußersten Elektronen der Atome her.

Wenn man nun mit Bezug auf die Ordnungszahl des Antikathodenmaterials das charakteristische Spektrum der Röntgenröhre untersucht, so findet man eine überaus einfache Gesetzmäßigkeit, die in Abb. 16 dargestellt ist, in der als Abszissen die Wellenlängen der charakteristischen Spektrallinien für die einzelnen Elemente und als Ordinaten deren Ordnungszahlen dargestellt sind. Die Darstellung rührt von Siegbahn her. Man sieht, wenn wir uns zunächst auf die niedrigen Ordnungszahlen bis 32 beschränken, daß jedes Element ein Linienspektrum besitzt, das aus einigen wenigen Linien besteht. Das allgemeine Aussehen eines jeden dieser Spektren ist im allgemeinen das gleiche, nur rückt mit zunehmender Ordnungszahl das Spektrum nach kürzeren Wellen, und die einzelnen Spektrallinien rücken näher zusammen. Dieses Spektrum ist in der Abbildung mit K bezeichnet, eine Benennung, die von Barkla herrührt. Dieses K-Spektrum ist auch bei Elementen von höherer Ordnungszahl vorhanden, bei ihnen tritt aber noch ein weiteres Spektrum hinzu, das ebenfalls nach dem Vorgang von Barkla als L-Spektrum bezeichnet wird. Bei den Elementen mit ganz hoher Ordnungszahl tritt dann noch weiter das von Siegbahn entdeckte M-Spektrum und schließlich, in der Abbildung nicht mehr angegeben, bei noch höheren Ordnungszahlen ein N-Spektrum hinzu, das von Dolejsek entdeckt wurde.

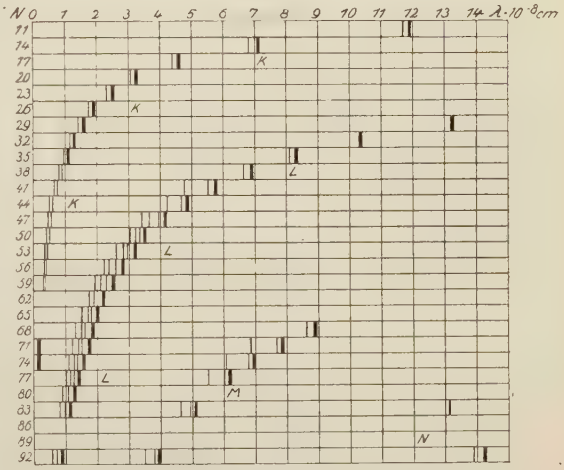


Abb. 16. Charakteristische Röntgenspektren in Abhängigkeit von der Atomnummer.

Die charakteristischen Strahlungen des Antikathodenmaterials werden nun nicht unter allen Umständen emittiert, wenn die die Röntgenstrahlen erzeugenden Elektronen die Antikathode der Röhre treffen. Es ist vielmehr für jede dieser Strahlungen eine Mindestgeschwindigkeit nötig, die die erzeugenden Elektronen haben müssen, damit die charakteristische Strahlung erregt wird. Oder, da die Geschwindigkeit dieser Elektronen von der an der Röhre liegenden Spannung abhängig ist, so können wir sagen, es muß eine gewisse Röhrenspannung überschritten sein, damit für ein bestimmtes Antikathodenmaterial die charakteristische Strahlung auftreten kann. Diese Mindestspannung ist für jedes Element eine andere und ist zudem für das K-Spektrum eine andere wie für das L-, M- oder N-Spektrum desselben Elementes. Ist sie etwa bei einem bestimmten Element für das K-Spektrum überschritten, so werden alle Linien des K-Spektrums auf einmal emittiert. Für das ganze K-Spektrum gibt es also eine bestimmte Anregungsspannung, die überschritten sein muß, damit das Spektrum auftritt. Ebenso hat das L-Spektrum eines Elementes eine bestimmte Anregungsspannung, die allerdings hier nicht für das ganze Spektrum, sondern nur für Teile desselben gilt. Die Anregungsspannung steht wieder mit der Wellenlänge des charakteristischen Spektrums in einer einfachen Beziehung. Ist λ_0 die Wellenlänge der kurzwelligsten Linie des K-Spektrums eines Elementes, so gilt für die Anregungsspannung V sehr angenähert

$$V \cdot \lambda_0 = 12{,}34,$$

also die Einsteinsche Quantenbeziehung, in der wieder die Wellenlänge in Angströmschen Einheiten, die Spannung in Kilovolt gemessen ist. Zur Erregung der langwelligen charakteristischen Spektren ist also eine geringere Spannung an der Röntgenröhre nötig, als zur Erzeugung der kurzwelligeren Spektren, die den höheratomigen Elementen eigentümlich sind. Das gilt sowohl für die K-Spektren als für die L-Spektren; da aber für jedes Element die Wellenlänge der L-Linien größer ist als die der K-Linien, so genügt auch zur Anregung des L-Spektrums eine geringere Spannung als zur Anregung des K-Spektrums.

In der folgenden Tabelle 3 sind für eine Anzahl von Elementen die Anregungsspannungen der K-Serie angegeben. Sie stehen in Kilovolt gemessen in der mit V überschriebenen Kolonne, während unter λ_0 die Wellenlängen stehen, die nach der Einsteinschen Formel diesem Spannungswert entsprechen. Sie sind also sehr nahe gleich der Wellenlänge der kürzesten Linie in jedem dieser K-Spektren. In der letzten Kolonne sind noch die Wellenlängen der stärksten Linien eines jeden dieser K-Spektren, in Wirklichkeit sind es Doppellinien — unter der Bezeichnung λ_{zz} angegeben. Die Werte sind den Tabellen in Roth-Scheel, Konstanten der Atomphysik, entnommen.

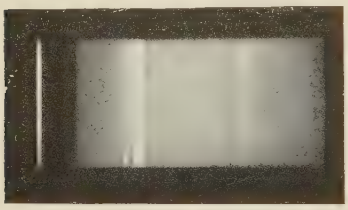


Abb. 17. Überlagerung von kontinuierlichem Röntgenspektrum und Linienspektrum.

Auch für das L-Spektrum seien einige Anregungsspannungen angegeben, die erreicht sein müssen, wenn das ganze L-Spektrum der betreffenden Substanz emittiert werden soll.

Barium	5,98	Kilovolt
Wolfram	12,0	„
Platin	13,8	„
Blei	15,8	„
Wismut	16,4	„
Uran	21,7	„

Teile des L-Spektrums werden schon bei geringeren Spannungen ausgesendet.

Wenn die zur Erreichung der Emission eines solchen charakteristischen Spektrums nötige Mindestspannung überschritten wird, so wächst die Intensität der Linien schnell mit zunehmender Spannung. Diese im vorigen beschriebene charakteristische Strahlung ist nur abhängig von den Elementen, aus denen die Antikathode besteht. Ist die Antikathode eine Metallegierung oder eine chemische Verbindung, so treten im Spektrum die charakteristischen Linien aller in ihr enthaltenen Elemente auf, wenn nur die Spannung den genügenden Wert hat. Die Linien überlagern sich natürlich über das ebenfalls immer vorhandene charakteristische Spektrum . Die Abb. 17 zeigt diese Überlagerung von kontinuierlichem und Linienspektrum deutlich. Die charakteristische Strahlung ist natürlich geeignet, die Grundlage einer Spektralanalyse im Röntgenstrahlengebiet zu bilden. Die Zusammensetzung der Antikathode spiegelt sich in den Wellenlängen des Linienspektrums wieder und läßt sich durch Messung der Wellenlängen genau ermitteln. Aber noch darüber hinaus gestattet die Untersuchung der charakteristischen Spektren das Auffinden neuer bisher unbekannter Elemente. Die Gesetzmäßigkeit dieses charakteristischen Spektrums in der Abhängigkeit von der Ordnungszahl ist so einfach, daß man ohne weiteres sagen kann, zu welcher Ordnungszahl etwa aufgefundene Spektrallinien gehören müssen. Auf diese Weise ist es möglich gewesen, das Element mit der Ordnungzsahl 72, das bisher unbekannt war, aufzufinden. Es wurde von Coster und Hevesy in Zirkonmineralien entdeckt, indem Linien gefunden wurden, die zweifellos dem L-Spektrum des Elementes Nr. 72 angehörten. Es erhielt den Namen Hafnium.

Tabelle 3.

Element	Ordnungszahl	V (Kilovolt)	λ_0 (AE.)	$\lambda_{K\alpha}$ (AE.)
Mg	12	1,29	9,51	9,86
Al	13	1,55	7,95	8,32
P	15	2,14	5,76	6,14
S	16	2,45	5,01	5,36
Cl	17	2,81	4,38	4,72
K	19	3,59	3,43	3,73
Ca	20	4,02	3,06	3,35
Sc	21	4,48	2,75	3,03
Ti	22	4,95	2,49	2,74
V	23	5,44	2,27	2,50
Cr	24	5,98	2,07	2.28
Mn	25	6,52	1,89	2,09
Fe	26	7,08	1,73	1,93
Co	27	7,69	1,60	1,79
Ni	28	8,32	1,49	1,65
Cu	29	8,93	1,38	1,54
Zn	30	9,51	1,30	1,43
Ga	31	10,39	1,19	1,34
Ge	32	10,79	1,11	1,26
As	33	11,79	1,04	1,17
Se	34	12,60	0,98	1,11
Br	35	13,45	0,92	1,04
Rb	37	15,15	0,81	0,92
Sr	38	16,05	0,77	0,87
Y	39	17,05	0,73	0,84
Zr	40	18,00	0,69	0,79
Nb	41	18,95	0,65	0,75
Mo	42	20,0	0,62	0,71
Rh	45	23,1	0,53	0,61
Pd	46	24,3	0,51	0,59
Ag	47	25,4	0,49	0,56
Cd	48	26,7	0,46	0,54
In	49	27,9	0,44	0,51
Sn	50	29,2	0,42	0,49
Sb	51	30,4	0,41	0,47
Te	52	31,8	0,39	0,46
J	53	33,1	0,37	0,44
Cs	55	35,8	0,34	0,40
Ba	56	37,3	0,33	0,39
La	57	38,8	0,32	0,37
Ce	58	40,3	0,31	0,36
Pr	59	42,0	0,29	0,34
W	74	69,2	0,18	0,21
Os	76	73,2	0,17	
Pt	78	77,9	0,16	0,19
Au	79	80,5	0,153	
Hg	80	83,0	0,149	
Tl	81	85,5	0,145	
Pb	82	87,5	0,141	
Bi	83	90,1	0,137	
Th	90	109	0,113	
U	92	115	0,107	

Es könnte nun scheinen, als ob diese Ergebnisse der Röntgenspektroskopie für die medizinische Röntgenologie ohne Interesse seien. Wir werden aber später sehen, daß

zwischen diesen Spektren und den Absorptionsverhältnissen in den Körpern enge Beziehungen bestehen. Da aber die Absorption der Röntgenstrahlen für die biologischen Wirkungen einerseits, für die Messungen an Röntgenstrahlen anderseits von fundamentaler Bedeutung ist, so durften diese Ergebnisse hier nicht übergangen werden, zumal sie auch ein so weitgehendes allgemein-wissenschaftliches Interesse bieten.

V. Fluoreszenzstrahlung.

Die charakteristische Strahlung eines Elementes tritt nicht nur auf, wenn Elektronen genügender Geschwindigkeit auf dasselbe auftreffen, sondern auch wenn es von Röntgenstrahlen genügender Härte getroffen wird.

Man hat dann eine vollständige Analogie zur Fluoreszenz im optischen Gebiet, und deshalb spricht man eben von dieser sekundären Röntgenstrahlung als von Fluoreszenzstrahlung. In dieser Form ist die charakteristische Strahlung zuerst von Barkla entdeckt worden. Der Anregungsspannung bei den durch Elektronen erzeugten charakteristischen Spektren entspricht hier die Höchstwellenlänge λ_0, die die erregende Strahlung haben darf, damit die Fluoreszenzstrahlung auftritt. Sie steht mit der Anregungsspannung V wieder in der Einsteinschen Beziehung

$$V \cdot \lambda_0 = 12{,}34.$$

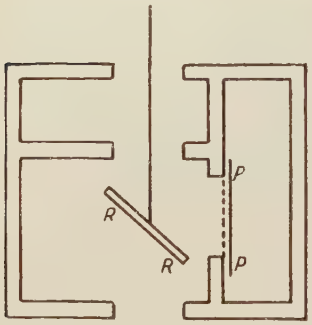


Abb. 18.
Glockers Analysator.

In der Tabelle 3 sind also die angegebenen Werte λ_0 diejenigen Wellenlängen, die die erregende Röntgenstrahlung höchstens haben darf, damit die K-Strahlung in Fluoreszenz erregt wird. Eine kürzere Wellenlänge ist brauchbar, eine längere erzeugt jedoch die K-Fluoreszenz nicht. Wir haben hier das sogenannte Stokessche Gesetz der Optik auf die Röntgenstrahlung angewendet, wonach eine Fluoreszenzstrahlung nur dann erregt wird, wenn die erregende Strahlung kurzwelliger ist als die zu erregende. Bei unserer Röntgenstrahlenfluoreszenz entsteht die stärkste Erregung der sekundären Strahlung dann bei weitem am stärksten, wenn die erregende Strahlung gerade etwas kurzwelliger ist, als die Erregungsgleichung angibt. Mit abnehmender Wellenlänge der erregenden Strahlung wird die Fluoreszenzstrahlung wieder schwächer. Je nachdem eine primäre Röntgenstrahlung die Sekundärstrahlung verschiedener Elemente stark erregt oder nicht, kann man also auf die Zusammensetzung der Primärstrahlung schließen. Das hat Glocker zur Konstruktion seines sogenannten Analysators benutzt, der ohne spektrale Zerlegung einen Schluß auf die Zusammensetzung einer Röntgenstrahlung gestattet.

Ein Bleikasten enthält in seinem Innern (Abb. 18) die Platte R unter 45 Grad gegen die einfallenden Strahlen geneigt und bei P eine photographische Platte. Von R geht eine kräftige Sekundärstrahlung nur aus, wenn die einfallende Welle so beschaffen ist, daß sie die K-Strahlung von R kräftig erregt. Das ist nach dem oben Gesagten nur dann der Fall, wenn die Wellenlänge dieser einfallenden Strahlung der Wellenlänge der K-Strahlung von R benachbart ist. Je stärker diese benachbarten Wellenlängen in der einfallenden Strahlung vorhanden sind, um so stärker wird die Emission von R sein und um so stärker wird bei sonst gleichen Verhältnissen die photographische Platte P geschwärzt werden. Solcher Kästen werden nun eine ganze Reihe nebeneinander gestellt, wobei R jedesmal aus anderem Material besteht. Dann wird

das höchstatomige Material nur auf die kürzeste Wellenlänge reagieren, das etwas niedriger atomige Material auf etwas weichere Strahlung usw. Die Schwärzung auf der photographischen Platte wird um so stärker auffallen, je stärker die für die Erregung günstigste Strahlung in dem einfallenden Strahlengemisch vorhanden ist. Die in den einzelnen nebeneinanderliegenden Kästchen auftretenden Schwärzungen — bei dem praktisch ausgeführten Apparat sind die Kästchen verbunden und eine einzige durchgehende photographische Platte enthält nebeneinander sämtliche Schwärzungen — geben ein Maß dafür, wie stark diejenigen Wellenlängen in der primären Strahlung vertreten sind, die etwas unterhalb der K-Strahlungen der verwendeten Reflektoren R liegen. Auf diese Weise erhält man also einen Überblick darüber, wie in der primären Strahlung die einzelnen Härtebereiche verteilt sind. Überwiegen die sehr harten Bestandteile, so wird hinter den höchstatomigen Substanzen die Schwärzung am stärksten sein: haben die mittleren Wellen die größte Intensität, so reagieren die Platten mit mittlerem Atomgewicht am stärksten usw. Die Materialien sind natürlich so ausgewählt, daß sie für die technischen Röntgenröhren nach Lage ihrer K-Strahlungen geeignet sind. Eine absolute Intensitätsbestimmung beansprucht der Apparat natürlich nicht. Zu Vergleichen verschiedener Röhren ist er dagegen recht geeignet.

Auf die Fluoreszenzstrahlung ist unter Umständen auch bei der medizinischen Anwendung der Röntgenstrahlung Rücksicht zu nehmen. In der Therapie werden vielfach gefilterte Strahlen benutzt, und man verwendet zur Filterung Schwermetalle, wie Kupfer und Zink, die man in den Strahlengang der Röntgenstrahlen bringt. Sie senden dann natürlich ihre Fluoreszenzstrahlung aus, die sehr weich ist, nach unserer Tabelle etwa bei 1.4 AE. liegt. Bringt man nun ein solches Filter unmittelbar auf die Haut oder in geringe Entfernung davon, so können diese weichen Strahlen eine ungewollt starke Belastung derselben hervorrufen, also Verbrennungen verursachen. Man hat deswegen in der Praxis meist vor das Schwerfilter noch den Aluminiumfilter gesetzt, das diese Strahlen aufhält.

VI. Absorption der Röntgenstrahlen.

Durch die Röntgenspektroskopie ist auch die Absorption der Röntgenstrahlen in Abhängigkeit von der Wellenlänge weitgehend aufgeklärt worden.

Geht ein homogenes Röntgenstrahlenbündel, d. h. ein Bündel eines sehr eng begrenzten Wellenlängenbezirkes durch eine Schicht eines ponderabelen Körpers hindurch, so erleidet es eine Schwächung, die von der Wellenlänge und dem durchstrahlten Körper abhängig ist. Ist die durchstrahlte Schicht so dünn, daß nur eine geringe prozentuale Schwächung eintritt, so gilt die Beziehung

$$A = I_0 \cdot \alpha \cdot d,$$

wo A die Intensität der absorbierten Strahlung, I_0 diejenige der auffallenden Strahlung und d die Dicke der durchstrahlten Schicht ist. Die Größe α, die also für $d = 1$ denjenigen Bruchteil der einfallenden Strahlung angibt, der absorbiert wird, heißt für die betreffende Substanz und Wellenlänge der Absorptionskoeffizient. Es zeigt sich, daß für dieselbe Substanz der Absorptionskoeffizient proportional der Dicke ist. Nennen wir die Dichte ρ, so ist also

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \rho,$$

oder $\alpha_0 = \frac{\alpha}{\rho}$ ist eine für die betreffende Substanz und Wellenlänge charakteristische

Konstante. Mit der Wellenlänge aber ändert sich $\frac{\varkappa}{\varrho}$ auch für dieselbe Substanz. Die

Wellenlänge sehr stark steigt. Die Experimente werden so angestellt, daß ein dünnes Röntgenstrahlenbündel durch die Bleiblenden B_1 und B_2 Abb. 19 ausgeblendet wird und die Intensität durch ein Meßgerät M ohne zwischengesetzte absorbierende Platte und mit einer solchen Platte P bestimmt wird. Ist die Absorption nicht prozentual gering, so ergibt sich aus der oben angegebenen Differentialgleichung des Absorptionskoeffizienten durch eine einfache Rechnung für die durchgehende Intensität I

$$I = I_0 \cdot e^{-\varkappa d},$$

wo I_0, $\varkappa$ und d dieselbe Bedeutung wie oben haben und e die Basis des natürlichen Logarithmensystems ist. Aus dieser experimentellen Bestimmung ergibt sich also I und I_0 und bei gegebenem d läßt sich $\varkappa$ durch eine leichte Rechnung finden.

Was auf diese Weise gemessen wird, ist allerdings nicht nur die absorbierte Strahlung, sondern bei M fehlt außerdem auch die sog. Streustrahlung. Ein Teil der Primärstrahlung wird nämlich beim Auffallen auf die Platte P in seiner Richtung verändert, wie die eingezeichneten Pfeile andeuten. Dieser Teil bleibt also zwar nicht in der Platte P stecken, er fällt aber auch nicht auf die Meßeinrichtung M und trägt also auch zur Schwächung der Primärstrahlung bei. Die Größe $\varkappa$, die wir auf diese Weise messen, charakterisiert also die gesamte Abschwächung, die sowohl durch wahre Absorption als auch durch diese Streuung bewirkt wird. Der Absorptionskoeffizient $\varkappa$ wird demnach besser als Gesamtschwächungskoeffizient bezeichnet und setzt sich aus zwei Teilen zusammen, dem wahren Absorptionskoeffizient μ und dem Streukoeffizient σ, so daß die Beziehung besteht

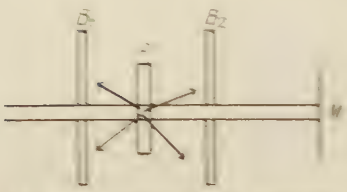


Abb. 19. Messung der Röntgenstrahlenabsorption.

$$\varkappa = \mu + \sigma \text{ oder auch } \frac{\varkappa}{\varrho} = \frac{\mu}{\varrho} + \frac{\sigma}{\varrho}.$$

Für die Abhängigkeit des durch die Dichte dividierten Absorptionskoeffizienten oder, wie man auch sagt, des Massenabsorptionskoeffizienten von der Wellenlänge ist von vielen Autoren die Beziehung erfüllt gefunden worden

$$\frac{\mu}{\varrho} = k \cdot \lambda^3,$$

wo k eine Konstante ist. Für den Gesamtschwächungskoeffizienten ergibt sich also

$$\frac{\varkappa}{\varrho} = k \cdot \lambda^3 + \frac{\sigma}{\varrho}.$$

Die Abhängigkeit des Streukoeffizienten von der Wellenlänge ist viel geringer. Diese Größe kann für einen weiten Wellenlängenbereich als Konstante angesehen werden und nur in dem Gebiete der kürzesten Wellenlängen ist auch hier eine Abnahme mit der Wellenlänge festzustellen.

Die Konstante k, die in diesen Gleichungen vorkommt, erleidet nun eine plötzliche sprunghafte Änderung bei den Wellenlängen, bei denen die charakteristische Strahlung der absorbierenden Substanzen sich befinden. Hat diese Konstante für Wellenlängen unterhalb der K-Strahlung einen bestimmten Wert, so ist für die Wellenlängen aber

halb der K-Strahlung dieser Wert ein anderer, und zwar ist er kleiner als vorher. Durch die Röntgenstrahlen von einer Wellenlänge kleiner als die der charakteristischen Strahlung wird eben die Fluoreszenzstrahlung erregt, und für diese Erregung wird Energie verbraucht, die dem primären Röntgenstrahl entzogen wird. Die Strahlen einer Wellenlänge, größer als die charakteristische Strahlung, erregen nach dem Stokesschen Gesetz diese Strahlung nicht und werden daher weniger stark absorbiert. Trägt man die Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Wellenlänge graphisch auf, so ergibt sich ein Bild wie in Abb. 20 Die Absorptionskurve steigt mit zunehmender Wellenlänge rasch an, hat aber an der Stelle $\lambda = \lambda_0$ einen Knick, wo λ_0 die Wellenlänge der kurzwelligen Grenze der charakteristischen Strahlung ist. Weiter soll auf diese Absorptionsgesetze nicht eingegangen werden, da sie in einer anderen Arbeit behandelt werden sollen. Die hier gegebenen Daten genügen aber, um das Bild klarzumachen, das im Spektrum durch die Absorptionserscheinungen hervorgerufen wird.

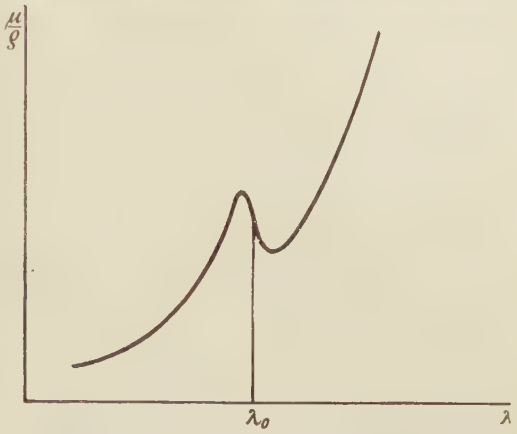


Abb. 20. Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Wellenlänge.

Die Sprünge in den Absorptionskoeffizienten bei den Wellenlängen der charakteristischen Strahlungen machen sich nun auch in den spektrographischen Aufnahmen bemerkbar, wenn man die Strahlung vor dem Auftreffen auf den Spalt des Spektralapparates durch eine absorbierende Substanz hindurchgehen läßt. Dann nimmt, wenn man als Lichtquelle eine Röntgenröhre benutzt, die ein starkes kontinuierliches Spektrum aussendet, die Schwärzung beim Fortschreiten nach längeren Wellen ab, entsprechend der immer stärker werdenden Absorption in dem vorgesetzten Filter. An der Stelle der charakteristischen Strahlung der absorbierenden Substanz wird aber die Durchlässigkeit plötzlich wieder größer, und deshalb wird auch die Schwärzung der photographischen Platte an dieser Stelle sprunghaft wieder größer. In der Abb. 21, die von Wagner stammt, ist für drei absorbierende Substanzen, Kadmium, Silber und Palladium, diese Erscheinung photographiert. Man sieht am linken Ende der Abbildung einen starken, von oben nach unten durchgehenden schwarzen Streifen. Er rührt von dem unabgebeugten Röntgenstrahlenbündel her und ist stark überexponiert. Die stark geschwärzten horizontalen Streifen stellen das ungeschwächte Spektrum dar, entsprechen also Spaltstellen, an denen sich keine absorbierende Substanz befand. Auf den Teilen der Aufnahme, die den mit der absorbierenden Substanz bedeckten Spaltstellen entsprechen, sieht man deutlich die Sprungstellen in der Schwärzung der photographischen Platte. Dieser Sprung liegt für das Element mit der höchsten Ordnungszahl, Kadmium, bei den kürzesten Wellenlängen; für das mittlere Element,

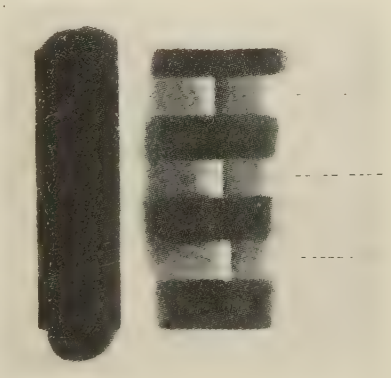


Abb. 21. Absorptionssprünge an den Stellen charakteristischer Eigenstrahlung.

Silber, liegt er etwas weiter nach längeren und für das niedrigst atomige Palladium liegt er bei den längsten Wellenlängen. Der Vergleich mit den charakteristischen Linienspektren der drei Elemente zeigt sehr nahe Übereinstimmung der Wellenlängen dieser Absorptionssprünge mit den kurzwelligsten Linien der entsprechenden K-Spektren.

Diese Erscheinung des Absorptionssprunges macht sich nun auch in jeder Photographie eines kontinuierlichen Röntgenspektrums ohne zwischengeschaltete absorbierende Substanz bemerkbar. Abb. 22 zeigt eine ebenfalls von Wagner herrührende Aufnahme eines solchen Spektrums auf einer gewöhnlichen photographischen Platte. Man sieht hier, daß von den links befindlichen kürzeren Wellen ausgehend die Schwärzung bis zu einem Maximum zunimmt, dann einen Sprung erleidet, um nach weiterem Anstieg zu einem erneuten Maximum wieder eine sprunghafte Abschwächung zu erfahren. Die Deutung dieser Erscheinung ist von Bragg und von Siegbahn gegeben worden, die sie der Absorption in der photographischen Schicht zuschrieben. Daß diese Deutung richtig ist, hat Wagner gezeigt, indem er nachwies, daß die Sprünge genau an den Stellen der K-Strahlung der Elemente Silber und Brom liegen, die in der photographischen Schicht enthalten sind. Die Entstehung dieser Sprünge ist so zu denken, daß bei der Annäherung an die Wellenlänge der K-Strahlung des Silbers die Absorption der Strahlen in der photographischen Platte zunimmt, so daß eine stärkere Energieaufnahme dieser Strahlen in der photographischen Platte erfolgt. Da diese Energieaufnahme die Schwärzung bewirkt, so werden die Wellenlängen unmittelbar unterhalb der charakteristischen Strahlung die stärkste Schwärzung hervorrufen. Dasselbe wiederholt sich an der Stelle der Bromstrahlung. Die Platte zeigt also das Absorptionsspektrum von Brom und Silber, aber im Vergleich zu den in Abb. 21 dargestellten Absorptionsspektren in dem Verhältnis, in dem ein photographisches Negativ zu einem photographischen Positiv steht. Während bei den Spektren der Abb. 21 der stärksten Absorption die geringste Schwärzung entsprach, weil die absorbierten Strahlen nicht mehr auf die Platte einwirkten, ist hier, wo durch die Absorption die Schwärzung bewirkt wird, an der Stelle der stärksten Absorption auch die stärkste Schwärzung vorhanden. Die Wellenlängen dieser Absorptionssprünge in der photographischen Schicht liegen nach de Broglie bei 0,482 und 0,916 AE., während die Wellenlängen der kurzwelligsten K-Linie für Silber und Brom nach Siegbahn bei 0,485 und 0,918 AE. liegen.

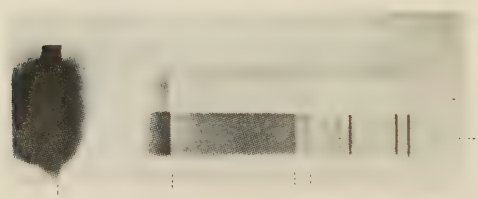


Abb. 22. Silberbandkante auf der photographischen Platte.

Diese zuletzt besprochenen Absorptionserscheinungen in der photographischen Platte sind nun bei den photographisch arbeitenden spektroskopischen Methoden insofern störend, als sie die auf der Platte erscheinende Schwärzungsverteilung gegen die durch die spektrale Energieverteilung eigentlich zu erwartende erheblich entstellen. In dem Bereich der Silber- und Bromabsorption ist also die Schwärzungsverteilung kein brauchbares Bild der spektralen Energieverteilung. Ähnlich ist es im Bereich der Wellenlängen der L-Strahlung. Ebenso wie an der kurzwelligen Grenze der K-Strahlung tritt nämlich auch im Gebiete der L-Strahlung ein Absorptionssprung ein, der aber im Gegensatz zu dem K-Sprung nicht einfach ist, sondern aus mehreren bei verschiedenen Wellenlängen liegenden Stufen besteht. Im übrigen sind die Sprünge im L-Strahlengebiet nicht so erheblich wie die K-Sprünge. Zusammenfassend ist also zu sagen, daß es nicht einfach ist, aus dem Aussehen einer Spektralaufnahme im Röntgengebiet richtige Schlüsse auf

die spektrale Intensitätsverteilung zu ziehen, zumal wenn man noch den früher erwähnten Einfluß der Überlagerung der Spektren verschiedener Ordnungen noch mit in Betracht zieht. Gut zu bestimmen ist die Wellenlänge der kurzwelligen Grenze im kontinuierlichen Spektrum sowie auch die Wellenlänge der charakteristischen Spektrallinien. Schließlich erweist sich die spektrographische Methode als sehr brauchbar, um den Einfluß der Filterung auf die Zusammensetzung eines Röntgenstrahlenbündels zu studieren. Man hat lange Zeit geglaubt, man könne durch Filterung der Röntgenstrahlen durch geeignete Metallbleche eine sehr homogene Strahlung herstellen, d. h. eine solche, die nur aus einem sehr engen Spektralbereich besteht. Die Photographie der Spektren zeigt, daß das im allgemeinen nicht der Fall ist, sondern daß auch nach ziemlich starker Filterung noch immer breite Spektralbereiche von der Strahlung erfüllt werden. Der Grad der Homogenität läßt sich also durch solche Spektralaufnahmen recht gut feststellen.

Literaturverzeichnis.

Über die Röntgenstrahlenspektroskopie sind eine Reihe eingehender zusammenfassender Arbeiten erschienen, die auch mit einem ausführlichen Literaturverzeichnis versehen sind, so daß ich auf diese Literaturzusammenstellungen hier verweisen kann.

Cermak, P., Die Röntgenstrahlen. In Graetz' Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Leipzig 1923. Auch als Sonderdruck.

March, A., Bericht über die Gesetze des kontinuierlichen Röntgenspektrums, Fortschr. d. Röntgenstr. 1924, 32 S. 105.

Küstner, H., Die Standardisierung der Röntgendosismessung, Strahlenther. 1924, 17 S. 1.

Siegbahn, M., Spektroskopie der Röntgenstrahlen, Berlin 1924.

Wagner, E., Über Röntgenspektroskopie. Physik. Ztschr. 1917, 18 S. 405, 432, 461, 488.

Die Ionisationsmessung der Röntgenstrahlen

Von

Privatdozent Dr. **Hans Küstner**

Mit 130 Abbildungen im Text
und 58 Tabellen

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 180

I. Allgemeines über den Ionisationsvorgang 181

1. Röntgens Entdeckung der Ionisation durch Röntgenstrahlen 181
2. Der Ionisationsvorgang 181
3. Rekombination, Diffusion und Sättigung 184
4. Einfluß von Temperatur und Druck 185
5. Aggregatzustand; Emissionsfähigkeit der chemischen Elemente für Primärelektronen 187
6. Einfluß der Feuchtigkeit 189
7. Die Ionisation in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen 189

II. Schwächung, Absorption und Streuung 191

1. Schwächung 191
2. Absorption 193
3. Streuung 193
4. Schwächung = Absorption + Streuung 194
5. Schwächung für chemische Verbindung und Gemische 195
6. Berechnung der Schwächung, Absorption und Streuung von Luft 195
7. Neuere Einzelmessungen des Streukoeffizienten 197

III. Streuung. Ionisation bei der Streuung 198

I. Streuung an gebundenen Elektronen 198
II. Streuung an freien Elektronen 201
1. Die Entdeckung von Compton und von Bothe 201
2. Debyes Theorie der Streuung an freien Elektronen 201
3. Comptons Theorie der Streuung an freien Elektronen 202
4. Experimentelle Prüfung der Wellenlängenänderung bei der Streuung 203
5. Experimentelle Prüfung der Austrittsrichtung, Geschwindigkeit und Häufigkeit der Rückstoßelektronen 205
6. Ionisation durch Streustrahlung im Vergleich zur Ionisation bei „wahrer Absorption“ 207

IV. Atomphysik 208

1. Der atomistische Aufbau der Materie 208
2. Der atomistische Aufbau der Elektrizität 209
3. Die elektromagnetische Strahlung 209
4. Die Energie; das Wirkungsquantum 210
5. Der lichtelektrische Effekt 210
6. Der Weg zum Rutherfordschen Atommodell 210
7. Das Bohrsche Atommodell 212
8. Absorption und Emission beim Bohrschen Atommodell 212

V. Absorptions- und Emissionsvorgang im Lichte der Bohrschen Atomtheorie 213

1. Absorption von Röntgenstrahlen und Emission von Elektronen und Röntgenstrahlen 213
a) Elektronenemission 214
b) Emission charakteristischer Strahlung 219
2. Absorption von kinetischer Energie stoßender Elektronen und Emission von Röntgenstrahlen und Elektronen 224
a) Emission von Röntgenstrahlung 224
b) Emission von Sekundärelektronen 226

Seite

VI. Einfluß von Gestalt und Material der Ionisationskammer auf die gemessene Trägerzahl 230
1. Große Kammer und Fingerhutkammer 230
2. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag 231
3. Quantitative Untersuchung von Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag . . 232
4. Kompensation des Wirkungsausfalls durch den Wandwirkungsbeitrag 236
5. Mechanische Ausschaltung von Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag . . . 237
6. Der Einfluß der Streustrahlung 238
7. Der Einfluß der Blendenstrahlung 242
8. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag bei der Fingerhutkammer 242

VII. Die Abhängigkeit der Ionisation vom Druck und die Messung der reinen Luftionisation in der Druckluftkammer 244
1. Die Bedingungen für die Messung reiner Luftionisation 244
2. Die Ionisation in Abhängigkeit vom Luftdruck 245
3. Die Druckluftkammer 246
4. Messungen mit der Druckluftkammer 249
5. Die Korrektur auf Normaldruck von 760 mm Quecksilber bei gewöhnlichen Kammern 251

VIII. Die Energiemessung der Röntgenstrahlen 253
1. Absorption von Energie ist die Vorbedingung für alle Wirkungen 253
2. Messung von n durch Beobachtung der Intensität charakteristischer Sekundärstrahlung 255
3. Messung von n durch Auszählung der Primärelektronenbahnen 256
4. Messung von n durch die Ionisationswirkung der losgerissenen Primärelektronen 256
5. Die Energiemessung der Röntgenstrahlen durch ihre Wärmewirkung bei der Absorption und die Ionisation 258

IX. Die Standarddosimetrie 261
1. Die Ursachen der Verwirrung in der heutigen Dosismessung 261
2. Das Prinzip der Standarddosimetrie 263
3. Die Forderungen der Praxis und Forschung an die Standarddosimetrie 264
4. Die Zeiteinheit 265
5. Die Intensitäts- und Dosiseinheit 265
6. Die Härtebestimmung 268
7. Die Aufgaben der Standarddosimetrie 269
8. Die Konstruktion des Standardgerätes 269

X. Die Strahlung unserer Röntgenröhren 271
I. Die charakteristische Strahlung der Antikathode 272
1. Die charakteristische Strahlung technischer Röntgenröhren 272
2. Die Intensität der Spektrallinien in Abhängigkeit von der Spannung 273
3. Charakteristische Strahlung und kontinuierliches Spektrum 274
II. Das kontinuierliche Röntgenspektrum 274
1. Die Methoden zur Aufnahme 274
2. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei Gleichspannung 274
3. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei anderen Spannungsformen 275
4. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums ist unabhängig vom Antikathodenelement 276
5. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums ist unabhängig von der Röhrenart 276
6. Die Grenzwellenlänge ist unabhängig vom Winkel zwischen Richtung der Kathodenstrahlen und Richtung der Röntgenstrahlen (Azimut) 276
7. Die Gesamtintensität des kontinuierlichen Röntgenspektrums in Abhängigkeit von der Spannung 276
8. Die Härte des kontinuierlichen Röntgenspektrums in Abhängigkeit von der Spannung 277
9. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit von der Spannungsform 278

Seite

10. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit von der Röhrenart 279
11. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit vom Antikathodenelement . . . 280
12. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit vom Azimut 280
13. Die Unabhängigkeit der Grenzwellenlänge und mittleren Härte des kontinuierlichen Röntgenspektrums von der Röhrenstromstärke und der „Brennfleckbelastung" . . . 280
14. Die Unabhängigkeit der Grenzwellenlänge von der Frequenz der Wechselspannung . . . 281
15. Der Einfluß von Filtern auf den Verlauf des kontinuierlichen Röntgenspektrums 281
16. Der Einfluß der Beschaffenheit der Antikathode auf die von ihr ausgehende Strahlung . . . 282
17. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 282

XI. Die Reproduzierbarkeit der Röntgenstrahlung bei gleicher Einstellung der Maschine 283

1. Der Einfluß der Netzspannung . . . 284
2. Der Einfluß des Ein- und Zweiröhrenbetriebes . . . 284
3. Der Einfluß der Gleichrichtervorrichtung . . . 284
4. Der Einfluß des Dauerbetriebes . . . 285
5. Der Einfluß der Antikathodenbeschaffenheit . . . 285

XII. Die physikalischen Grundlagen der Messung der gebildeten Träger . . . 285

XIII. Die Meßmethoden und ihre Genauigkeit . . . 287

I. Die Abstoppmethode . . . 287

1. Einfluß des Gerätes . . . 287
2. Psychologische Einflüsse . . . 287
3. Die Reihenfolge der Beobachtungen . . . 288
4. Die Mittelwertbildung . . . 289

II. Die Zweielektrometer-Methode . . . 289

XIV Justierung und Fehlerquellen . . . 290

1. Justierung . . . 290
2. Filteranordnung . . . 291
3. Der Bleischutz der Meßanordnung . . . 292
4. Isolations- und Dielektrikumsfehler . . . 293
5. Der Dunkeleffekt . . . 294
6. Der elektrostatische Schutz und die Erdung . . . 295
7. Sättigung . . . 296

XV. Die Meßgeräte . . . 296

1. Vermeidung von Isolations- und Dielektrikumsfehlern durch das Schutzringprinzip 297
2. Geräte ohne Ausschaltung der Isolations- und Dielektrikumsfehler . . . 298
3. Aufladevorrichtungen . . . 298
4. Ablaufende Elektrometergeräte . . . 300
5. Direkt zeigende Geräte . . . 304
6. Dosiszähler . . . 308

XVI. Sättigungsprüfung und Spannungseichung . . . 309

I. Sättigungsprüfung . . . 309

1. Röntgenstrahlintensität und Sättigungsspannung . . . 309
2. Sättigungsprüfung für Ablaufzeit zwischen zwei Skalenteilen bei vorgeschriebener Kammerspannung . . . 310

II. Spannungseichung . . . 311

1. Anlegen verschiedener, bekannter Spannungen an das Elektrometer . . . 311
2. Vergleich mit einem als Spannungsmesser geeichten, ablaufenden Ionisationsgerät nach der Zweielektrometer-Methode . . . 312
3. J_0 und a bleiben ungeändert, t wird variiert . . . 313
4. J_0 und t bleiben ungeändert, a wird variiert . . . 313
5. t und a bleiben ungeändert, J_0 wird variiert . . . 313

Seite

XVII. Die Konstanz der Empfindlichkeit und ihre Prüfung 313
1. Der Brennfleckabstand a 313
2. Die Ablaufzeit t 314
3. Der Lochquerschnitt q 315
4. Die Kapazität C 315
5. Die Trägerzahl N 315
6. Die Spannungsempfindlichkeit s 316
7. Die elektrische Elementarladung ε 316
8. Änderung der Empfindlichkeit bei Änderung eines oder mehrerer Faktoren . . . 316
9. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit durch ein radioaktives Präparat . . 317
10. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit durch Vergleich mit einem anderen Gerät 320
11. Das Eichstandgerät 320

XVIII. Die Härtemessung der Röntgenstrahlen 323
1. Das Röntgensche Absorptionsgesetz 323
2. Der Einfluß des Ionisationsgerätes auf das Ergebnis der Härtemessung 324
3. Die Halbwertschicht in einem bestimmten Filtermaterial als Maß der mittleren Härte 325
4. Der Schwächungskoeffizient in einem bestimmten Filtermaterial als Maß der mittleren Härte 325
5. Filtermaterial, Homogenitätspunkt und praktische Homogenität 326
6. Der Heterogenitätsfaktor nach Christen 331
7. Die prozentuale Tiefendosis in Wasser als Maß der mittleren Härte 331

XIX. Die Tiefendosis und ihre Messung 332
1. Oberflächendosis, Tiefendosis, Dosenquotient und prozentuale Tiefendosis 332
2. Prinzipielles zur Messung des Dosenquotienten 333
3. Faktoren, welche den Wert des Dosenquotienten beeinflussen 333
4. Das quadratische Abstandsgesetz bei der Oberflächendosis 342
5. Faktoren, welche die Genauigkeit der Messung beeinflussen 342
6. Die Verteilung der Röntgendosis auf die einzelnen Punkte des Mediums oder Wasserphantoms 345
7. Folgerungen für die Praxis 349

XX. Hergang einer Messung 350
I. Vorbereitungen zur Messung 350
II. Sättigungsprüfung 350
III. Spannungseichung 351
IV. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit 351
V. Intensitätsmessung 351
VI. Härtemessung 351
VII. Tiefendosis 352
VIII. Angabe der Dosis in „R“ 352

XXI. Die Stellung der Ionisationsmethode zu anderen Dosimeterverfahren 353
1. Die Leitfähigkeitsänderung der Selenzelle 353
2. Die Empfindlichkeit der photographischen Platte 354
3. Die Fluoreszenzhelligkeit von Leuchtschirmen 358
4. Die Färbung der Sabouraud-Noiré-Tablette 358
5. Die chemische Umsetzung 359

Literaturverzeichnis 359

Einleitung.

Scharfe Dosierung und genaue Kenntnis der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen sind die Vorbedingung für den Erfolg in der Röntgentherapie. Aber auch die biologische Wirkung der Röntgenstrahlen läßt sich nur durch scharfe Dosierung erschließen. Die Dosismessung ist daher das Fundament der Röntgentherapie.

Prinzip, technische Ausführung und Handhabung des Dosimeters bedingen den Wert der Dosismessung. Bei vollendeter Ausführung des Gerätes vermag das Ionisationsverfahren höchste Empfindlichkeit, höchste Genauigkeit, größte Zuverlässigkeit und bequemste Handhabung zu vereinigen. Aus diesem Grunde steht das Ionisationsverfahren unter allen nach verschiedensten Prinzipien arbeitenden Verfahren an erster Stelle. Die vorliegende Abhandlung ist deshalb der Ionisationsmessung der Röntgenstrahlen gewidmet.

Die Ionisationsmessung ist ein physikalisches Verfahren. Es gründet sich auf zahlreiche, qualitativ und quantitativ größtenteils bekannte und miteinander ursächlich verwobene physikalische Einzelvorgänge und Gesetze. Nur wer diese beherrscht, kann die Wirkung aus ihrer Ursache verstehen; nur er hat Höchstleistungen zu erwarten, nur er kann oft verhängnisvolle Schwächen seines Gerätes rechtzeitig erkennen, nur er kann eigene Meßgenauigkeit und fremde Angaben richtig bewerten, nur er kann den Weg zu Fortschritten weisen und selbst erfolgreich forschend tätig sein. Die Praxis, die unentbehrliche Führerin zum Erfolg, vermag jene den Stoff ganz durchdringende Kenntnis nicht zu ersetzen.

Aus diesem Grunde wird die vorliegende Abhandlung die Erscheinungen bis zu ihren letzten Ursachen verfolgen, entsprechend den Vorstellungen, die wir uns heute von jenen machen. Ziel dieser Arbeit ist es, den Stand unserer gegenwärtigen Kenntnis so erschöpfend zu behandeln, daß der Praktiker und der Forscher alles Wissenswerte vorfindet.

Trotzdem konnten nicht alle verdienstvollen Arbeiten gewürdigt werden. Einzelne herauszugreifen, besonders unter solchen, deren Problemstellung und Ergebnisse in derselben Richtung liegen, war Gebot des Raummangels. Deshalb lag dem Verfasser die Absicht völlig fern, durch stillschweigendes Übergehen einer Arbeit, eines Verfahrens oder eines Gerätes eine Geringschätzung zum Ausdruck bringen zu wollen.

Erstes Kapitel.

Allgemeines über den Ionisationsvorgang.

1. Röntgens Entdeckung der Ionisation durch Röntgenstrahlen.

Schon unmittelbar nach seiner Entdeckung der Röntgenstrahlen fand Röntgen, daß diesen die Fähigkeit zukommt, elektrisch geladene Körper, die von ihnen getroffen werden, zu entladen, und zwar um so rascher, je intensiver die Strahlen sind. Dabei erwies es sich im allgemeinen als gleichgültig, ob die elektrisch geladenen Körper Leiter oder Isolatoren sind. Röntgens Beobachtungen deuteten darauf hin, daß vornehmlich die die Körper umgebende, bestrahlte Luft die Eigenschaft erhalten hat, die Entladung der elektrischen Körper, mit denen sie in Berührung kommt, herbeizuführen. Um dies nachzuweisen, benutzte Röntgen eine 3 cm weite, 45 cm lange Messingröhre; in einigen Zentimetern Entfernung von dem einen Ende war ein Teil der Röhrenwand weggeschnitten und durch ein dünnes Aluminiumblech ersetzt; am anderen Ende war unter luftdichtem Abschluß eine an einer Metallstange befestigte Messingkugel isoliert in die Röhre eingeführt. Zwischen der Kugel und dem verschlossenen Ende der Röhre war ein Seitenröhrchen angelötet, das mit einer Saugvorrichtung in Verbindung stand; wenn gesaugt wurde, so wurde die Messingkugel umspült von Luft, die auf ihrem Wege durch die Röhre an dem Aluminiumfenster vorübergegangen war. Durch das Aluminiumfenster konnte die Luft mit Röntgenstrahlen bestrahlt werden. Die Kugel war mit einem Elektroskop verbunden.

Es zeigte sich nun, daß eine der Kugel mitgeteilte positive oder negative Ladung von den Röntgenstrahlen nicht beeinflußt wurde, solange die Luft in der Röhre in Ruhe blieb, daß die Ladung aber sofort beträchtlich abnahm, wenn durch kräftiges Saugen bestrahlte Luft der Kugel zugeführt wurde.

Damit war nicht allein bewiesen, daß es mit Röntgenstrahlen bestrahlte Luft ist, der die Fähigkeit zukommt, elektrisch geladene Körper zu entladen, sondern auch, daß die Luft diese Fähigkeit auch noch einige Zeit nach der Bestrahlung beibehält, nämlich mindestens während der Zeit ihrer Bewegung vom Aluminiumfenster zur Kugel.

Röntgen konnte auch zeigen, daß die bestrahlte Luft ihre Fähigkeit, elektrisch geladene Körper zu entladen, verliert, wenn sie mit anderen Körpern in Berührung kommt: wurde zwischen Aluminiumfenster und Kugel entweder ein Wattepfropf oder ein sehr enges Drahtgitter gebracht, so blieb die Ladung der Kugel auch beim Saugen unverändert.

2. Der Ionisationsvorgang.

Die Fähigkeit der mit Röntgenstrahlen bestrahlten Luft, elektrisch geladene Körper zu entladen, ist seit Röntgens Entdeckung Gegenstand außerordentlich zahlreicher Untersuchungen gewesen, so daß wir uns heute über diesen Vorgang ein recht klares Bild machen können. Wir wissen heute, daß die Atome Planetensysteme sind: um den positiv geladenen, schweren Kern kreisen nach Planetenart die Elektronen, jene kleinsten

Bestandteile der negativen Elektrizität, die wir im Kathodenstrahl unserer gasfreien Röntgenröhren in Reinkultur vor uns haben. Diese Elektronen haben alle das gleiche, sehr geringe Gewicht von $^1/_{1800}$ des Wasserstoffatoms und alle die gleiche negative Ladung, die wir aus der Elektrolyse als die Ladung eines einwertigen Ions kennen. Den Röntgenstrahlen kommt nun die Fähigkeit zu, ein solches Planetenelektron aus dem Atom herauszureißen, wobei der Atomtorso positiv geladen zurückbleibt. Ob das Atom, dem das Planetenelektron entrissen wird, ein freies Atom ist, oder ob es sich im Molekülverband befindet, ist dabei prinzipiell gleichgültig: im ersten Falle bleibt es zurück als positives Atomion, im zweiten Falle als positives Molekülion, und stets beträgt die Ladung eine positive Einheit. Die Kenntnis dieses Vorganges würde schon dazu genügen, um die von Röntgen beobachteten Entladungsvorgänge zu erklären: die Ladung der Kugel könnte durch die Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens neutralisiert werden, die die Röntgenstrahlen in der Luft erzeugen. Eingehendere Untersuchungen haben indessen gezeigt, daß sich der Entladungsvorgang höchstens zu einem kleinen Bruchteil auf diesem Wege abspielt, und daß zwischen die ionisierende Wirkung der Röntgenstrahlen und die Entladung elektrisch geladener Körper ein weiterer Vorgang eingeschaltet ist, dem die entladende Wirkung im wesentlichen zukommt. Die von den Röntgenstrahlen aus dem Atomverbande losgerissenen Planetenelektronen verlassen diesen im allgemeinen mit großer Geschwindigkeit. Solche schnelle Elektronen besitzen die Fähigkeit, dort, wo sie auf ihrer Bahn zufällig mit einem Gasatom oder -molekül zusammenstoßen, aus diesem ein Planetenelektron herauszureißen, wobei das getroffene Gasatom oder -molekül wieder als positives Atom- oder Molekülion zurückbleibt. Bei jedem solchen Vorgange verliert das primäre Elektron einen kleinen Bruchteil seiner Geschwindigkeit, und die Zusammenstöße, deren jeder mit der Bildung eines solchen „Trägerpaares" endigt, können nach Tausenden zählen, bis das primäre Elektron soviel von seiner Geschwindigkeit eingebüßt hat, daß es sich an ein Atom oder Molekül anlagert und mit diesem ein negatives Atom- oder Molekülion bildet, oder daß es von einem positiv geladenen Atom- oder Molekülion eingefangen wird und dieses neutralisiert. Das von Röntgenstrahlen in Freiheit gesetzte Primärelektron wird also längs seiner Bahn eine große Anzahl negativer Sekundärelektronen und positiver Atom- oder Molekülionen erzeugen, und diese sind es erst, denen die Entladung der Kugel in Röntgens Versuch zuzuschreiben ist.

Den deutlichsten Beweis dafür, daß sich diese Ionisation in einem Gas in der oben geschilderten Weise abspielt, erbrachte C. T. R. Wilson. Ihm gelang es, die Bahnen der Primärelektronen in einem Gase sichtbar zu machen und photographisch festzuhalten. Vergrößert man das Volumen einer Kammer, die mit Wasserdampf gesättigte Luft enthält, ruckweise um einen kleinen Betrag, so erfolgt bei der Expansion eine Kondensation, und die Nebeltröpfchen lagern sich an etwa vorhandene Gasionen an. Wilson ließ ein sehr schmales Röntgenstrahlenbündel kurze Zeit durch eine solche Kammer fallen, expandierte, belichtete und photographierte anschließend und erhielt so die Aufnahme Abb. 1. Man erkennt auf ihr deutlich die einzelnen Ionen, welche die von den Röntgenstrahlen befreiten Primärelektronen beim Zusammenstoß mit den Gasmolekülen auf ihrer Bahn erzeugen. Das bei dieser Aufnahme außerordentlich schmale Röntgenstrahlenbündel ist am Rande der Aufnahme durch einen Pfeil markiert.

Wir wollen nicht verfehlen, darauf hinzuweisen, daß diese unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen gebildeten „Ionen" mit denen der Elektrolyse nichts zu tun haben. Denn, wie wir wissen, wird bei dieser unter Einwirkung der elektrischen Kräfte das Molekül des Elektrolyten in ein- oder mehrwertige Atom- oder Molekülionen positiven und negativen Vorzeichens aufgespalten, welche den Elektrizitätstransport in ent-

gegengesetzter Richtung übernehmen. So wandert beispielsweise bei der Elektrolysierung von Kupfersulfat $CuSO_4$ das Cu als zweiwertiges Atomkation, das SO_4 als zweiwertiges Molekülanion. Demgegenüber wird bei der „Ionisation" durch Röntgenstrahlen das Molekül niemals in seine chemischen Bestandteile zerlegt: einzig und allein durch Verlust oder Gewinn eines Planetenelektrons wird es ein positives oder negatives Molekülion, d. h. es bleibt dasselbe Molekül wie vorher, erhält nur eine positive oder negative Ladung. Für das Atomion gilt dasselbe. Dabei sind die Träger in der Regel einwertig, nämlich entweder positive Molekül- und Atomionen, oder negative Molekül- und Atomionen und Elektronen. Ob überhaupt durch Röntgenstrahlen direkt oder auf dem Umwege über ein schnelles Primärelektron mehrere Planetenelektronen aus demselben Molekül oder Atom abgespalten werden können, so daß dieses als mehrwertig zurückbleibt, ist noch unsicher, wenn auch von demselben Punkte ausgehende Bahnen und zwei Gabeln einer Bahn an derselben Stelle bei den Nebelaufnahmen Wilsons und die Erfahrungen mit Kanalstrahlen dafür zu sprechen scheinen.

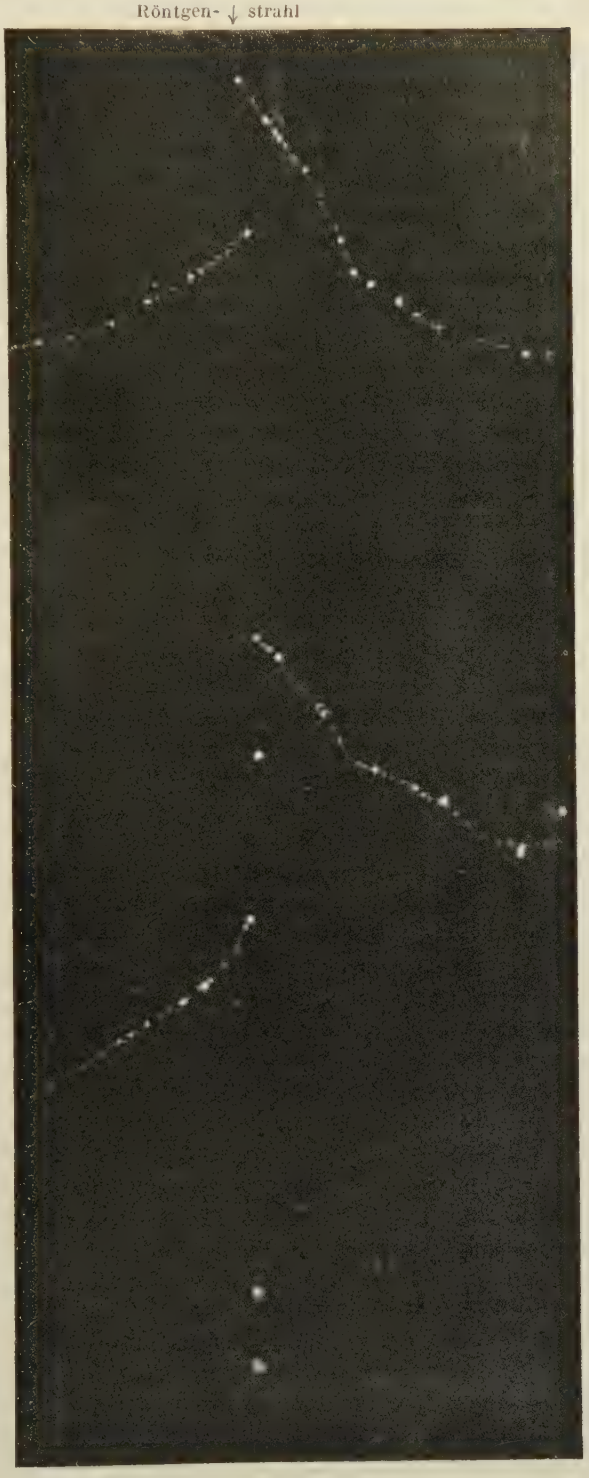


Abb. 1. Nebelaufnahme von Elektronenbahnen von C. T. R. Wilson. Lange Bahnen mit starker Vorwärtskomponente. Kugelbahnen. Zylindrisches Röntgenstrahlbündel, 0,5 mm Durchmesser, mit 0,08 mm Kupfer gefiltert. Enddruck 19 cm.

Um den grundlegenden Unterschied zwischen den elektrolytischen Ionen und den von Röntgenstrahlen ausgelösten „Ionen" zu betonen, hat Lenard für die letzteren den Namen „Träger" geprägt. Leider hat sich derselbe nicht allgemein durchzusetzen vermocht.

Wir schließen an dieser Stelle unsere Betrachtungen über den Ionisationsvorgang, um sie an späterer Stelle eingehender, insbesondere von der quantitativen Seite her, wieder aufzunehmen.

3. Rekombination, Diffusion und Sättigung.

A. Rekombination. Läßt man Röntgenstrahlen auf einen abgeschlossenen Gasraum einwirken, so nimmt die Zahl der gebildeten Ionen zunächst mit der Zeit zu. Je länger aber die Bestrahlung dauert, um so langsamer nimmt die Ionenzahl zu, und es bildet sich schließlich ein Gleichgewichtszustand heraus, in dem keine Zunahme der Ionenzahl mehr stattfindet. Die Ursache ist die folgende: Die Temperatur eines Gases äußert sich bekanntlich darin, daß sich alle seine Atome oder Moleküle in einem Zustande ständiger ungeordneter Bewegung befinden. So haben beispielsweise die Luftmoleküle bei 0^0 C eine mittlere Geschwindigkeit von 485 m pro Sekunde. Infolge dieser großen Geschwindigkeit wird nun der Fall eintreten, daß Träger entgegengesetzten Vorzeichens miteinander zusammenstoßen, sich rekombinieren, dadurch unelektrisch werden und so aufhören, Ionen zu sein. Je stärker ein Gas ionisiert ist, um so häufiger wird diese Rekombination erfolgen, und der Gleichgewichtszustand wird dann erreicht sein, wenn in der Zeiteinheit ebensoviel Ionen durch Rekombination verschwinden, wie durch die ionisierende Kraft der Röntgenstrahlen erzeugt werden.

B. Diffusion. Befindet sich das Gas in einem geschlossenen Metallgefäß, so werden infolge der Wärmebewegung eine Anzahl Ionen auf die Metallwände auftreffen und hier ihre Ladung verlieren. Die Gasschicht in der Nähe der Gefäßwand wird infolgedessen arm an Ionen sein, während die Ionenzahl nach dem Innern des Gefäßes zu steigt. Hierdurch entsteht ein Konzentrationsgefälle, und die Ionen werden infolgedessen vom Innern her nach den Wänden zu diffundieren.

Welcher der beiden Effekte der größere ist, hängt vom Einzelfall ab. Wird das Metallgefäß durch zwei parallele, einander sehr nahe gegenüberstehende Wände begrenzt, so kann der Ladungsverlust durch Diffusion den durch Rekombination überwiegen; bei allseitig geräumiger Ausdehnung des Gefäßes kann das Umgekehrte der Fall sein.

C. Sättigung. Wir betrachten eine Versuchsanordnung, wie sie in der Abb. 2 schematisch dargestellt ist. Die von der Röntgenröhre R ausgehende Röntgenstrahlung wird durch eine mit einem Loch versehene Bleiwand B zu einem schmalen Bündel ausgeblendet. Dieses durchsetzt den Zwischenraum zwischen zwei parallelen Metallplatten C, deren untere geerdet ist, und deren obere über ein hochempfindliches Galvanometer G mit dem einen Pol einer Batterie A verbunden ist. Der andere Pol der Batterie ist ebenfalls geerdet; und da das Galvanometer G an beliebiger Stelle mit der Batterie A verbunden werden kann, so läßt sich die obere Platte C auf jede beliebige Spannung bringen und damit ein elektrisches Feld beliebiger Stärke zwischen den beiden Platten C erzeugen. Durch die ionisierende Wirkung der Röntgenstrahlen werden zwischen den Platten C Träger gebildet, von denen die positiven durch die negative Platte C, die negativen durch die positive Platte C angezogen werden. Der so über die Platten C abfließende Ionisationsstrom läßt sich durch das Galvanometer G messen.

Wir verbinden das Galvanometer G zunächst mit dem geerdeten Pol der Batterie A, so daß das elektrische Feld zwischen den Platten C gleich Null wird. Wir legen dann G der Reihe nach an höhere Spannungen der Batterie A und erzielen dann immer höhere Feldstärken zwischen den Platten C. Messen wir den zu jeder Spannung e gehörigen Ionisationsstrom i, so erhalten wir die in Abb. 3 dargestellte Kurve. Für niedrige Spannungen steigt der Ionisationsstrom proportional mit der Spannung an. Diese Proportionalität hört aber bald auf, und von einer gewissen Spannung an nimmt der Ionisations-

strom nicht mehr zu, wenn wir die Spannung auch weiter steigern. Der Ionisationsstrom ist dann unabhängig von der Spannung: wir befinden uns im Zustande der Sättigung. Dieser Sättigungszustand findet seine Erklärung darin, daß alle Ionen, die durch die Einwirkung der Röntgenstrahlen im Gase entstehen, durch das elektrische Feld auf die Platten C getrieben werden. Mehr Ionen, als in der Zeiteinheit erzeugt werden, können nicht herausgeholt werden, und aus diesem Grunde kann bei einer Spannungssteigerung der Ionisationsstrom nicht mehr zunehmen. Anders liegen die Dinge in dem Bereich der Kurve, in dem der Ionisationsstrom mit der Spannung zunimmt: hier geht eine Anzahl der gebildeten Ionen durch Rekombination und durch Diffusion an die Wände der Ionisationskammer, welche die Platten C umschließt und in der Figur nicht mitgezeichnet ist, verloren.

Die Sättigungskurve zeigt, daß man durch Wahl hinreichend hoher Spannung die störenden Einflüsse der Rekombination und Diffusion ausschalten kann. In der Praxis

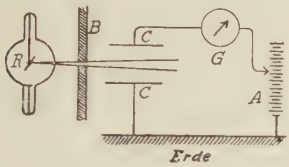


Abb. 2. Anordnung zum Nachweis der Sättigung.

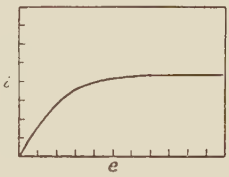


Abb. 3. Sättigungskurve.

genügen im allgemeinen einige hundert Volt, um Sättigung zu erzielen. Man wird sich aber in jedem Einzelfalle davon zu überzeugen haben, ob die verwendete Spannung zur Erzielung der Sättigung ausreicht; denn der Ionisationsstrom kann nur dann als Maß für die Intensität der Röntgenstrahlung dienen, wenn sich nicht ein im Einzelfalle unbekannter Bruchteil der erzeugten Ionen durch Rekombination und Diffusion der Messung entzieht.

4. Einfluß von Temperatur und Druck.

Der Einfluß von Temperatur und Druck auf die von Röntgenstrahlen hervorgerufene Ionisation wurde von Mc Clung für Luft, Kohlensäure und Wasserstoff untersucht. Mc Clung stellte zwei Versuchsreihen auf; bei der einen Reihe wurde die Dichte des Gases konstant gehalten und seine Temperatur geändert. Hierbei zeigte sich die Ionisation in dem untersuchten Intervall zwischen $+ 15^0$ C und $+ 272^0$ C unabhängig von der Temperatur. Dieses Ergebnis ist durchaus plausibel; denn bei konstant gehaltener Dichte bleibt die Zahl der Moleküle im Versuchsraum die gleiche, und diese ist ausschlaggebend für die gebildete Trägerzahl, nicht aber die Geschwindigkeit der Gasmoleküle, in der ja die Temperatur des Gases ihren Ausdruck findet. Bei der anderen Versuchsreihe wurde der Druck konstant gehalten und wieder die Temperatur verändert; hier erwies sich die Ionisation umgekehrt proportional der absoluten Temperatur. Auch dieses Ergebnis ist durchaus einleuchtend. Denn nach den Gesetzen von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac ist bei konstantem Druck die Dichte eines Gases umgekehrt proportional der absoluten Temperatur.

Wenn nicht besondere Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, sind die Ionisationskammern nicht luftdicht. Infolgedessen wird die Luftdichte in der Kammer gleich der außen herrschenden Luftdichte sein, und deshalb wird die von denselben Röntgenstrahlen hervorgerufene Ionisation im allgemeinen umgekehrt proportional der absoluten Tem-

peratur sein. Der Nullpunkt der absoluten Temperaturskala liegt bei -273^0 C. Um reproduzierbare Werte für die von derselben Röntgenstrahlung bei verschiedenen Temperaturen gemessene Ionisation zu erhalten, ist man deshalb genötigt, die Ionisationsmessung auf eine bestimmte Temperatur zu reduzieren. Am einfachsten wählt man hierzu 0^0 C $= +273^0$ absolut. Hat man bei t^0 C die Ionisation J_t gemessen, so erhält man die bei gleichem Druck auf 0^0 C reduzierte Ionisation J_0 nach der Formel

$$J_0 = J_t \cdot \frac{273 + t}{273} = J_t \cdot \left(1 + \frac{t}{273}\right) = J_t \cdot (1 + 0{,}00367\,t).$$

Außerdem wird aber auch der Außendruck und mit ihm der Druck in der Ionisationskammer schwanken; man wird also auch hier gezwungen sein, auf einen bestimmten Druck zu reduzieren, und man wird, wie allgemein üblich, hierfür den Druck von 760 mm Quecksilber wählen. Man hat dementsprechend die letzte Formel zu erweitern und erhält die auf 0^0 C und 760 mm Quecksilber reduzierte Ionisation $J_{0;760}$ aus der bei t^0 C und beim abgelesenen Barometerstande von p mm Quecksilber gemessenen Ionisation $J_{t,\,p}$ nach der Formel

$$J_{0;760} = J_{t,\,p} \cdot (1 + 0{,}00367\,t) \cdot \frac{760}{p}. \tag{1a}$$

Reduziert man nicht auf 0^0, sondern auf 18^0 C, so wird, wie man sich durch eine einfache Rechnung überzeugen kann,

$$J_{18} = J_t \cdot \frac{273 + t}{273 + 18} = J_t\ (0{,}938 + 0{,}00343\,t),$$

und dementsprechend

$$J_{18;760} = J_{t,\,p} \cdot (0{,}938 + 0{,}00343\,t) \cdot \frac{760}{p}. \tag{1b}$$

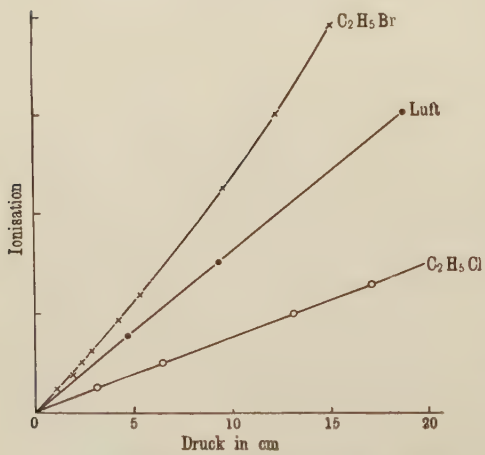


Abb. 4. Ionisation in verschiedenen Gasen in Abhängigkeit vom Druck nach Crowther. (Aus Pohl: „Die Physik der Röntgenstrahlen").

Von dieser Formel werden wir bei der Standarddosismessung Gebrauch machen (IX. Kap.).

In Abb. 4 ist eine Messung von Crowther wiedergegeben. Die Proportionalität zwischen Ionisation und Druck für Luft und Chloräthyl wird durch den geradlinigen Verlauf der Kurven dargetan. Daß auch Abweichungen von der Proportionalität auftreten können, beweist die oberste Kurve für Bromäthyl durch ihren gekrümmten Verlauf. Die Ursache ist darin zu suchen, daß Brom als ein Element, das eine höhere Stelle im periodischen System einnimmt, unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen eine ihm charakteristische, sekundäre Röntgenstrahlung aussendet, welche ihrerseits wieder eine Ionisation hervorruft. Wir haben also unser oben aufgestelltes Gesetz, daß die Ionisation dem Druck proportional sei, dahin einzuschränken, daß das ionisierte Gas im Wellenlängenbereich der ionisierenden Röntgenstrahlen nicht zur Emission seiner charakteristischen Strahlung angeregt werden darf. Wie wir im II. und

VII. Kapitel weiter sehen werden, ist diese Bedingung für die zur Füllung der Ionisationskammern meist benutzte Luft mit hinreichender Genauigkeit erfüllt. Eingehender werden wir uns mit der Druckabhängigkeit der Ionisation im VII. Kapitel befassen, wenn wir mit den physikalischen Grundvorgängen bei der Ionisation näher vertraut sind.

5. Aggregatzustand; Emissionsfähigkeit der chemischen Elemente für Primärelektronen.

Dorn zeigte 1900, daß auch Metalle, die von Röntgenstrahlen getroffen werden, Elektronen emittieren. Der Primärvorgang der Ionisation ist also nicht allein auf den gasförmigen Zustand beschränkt.

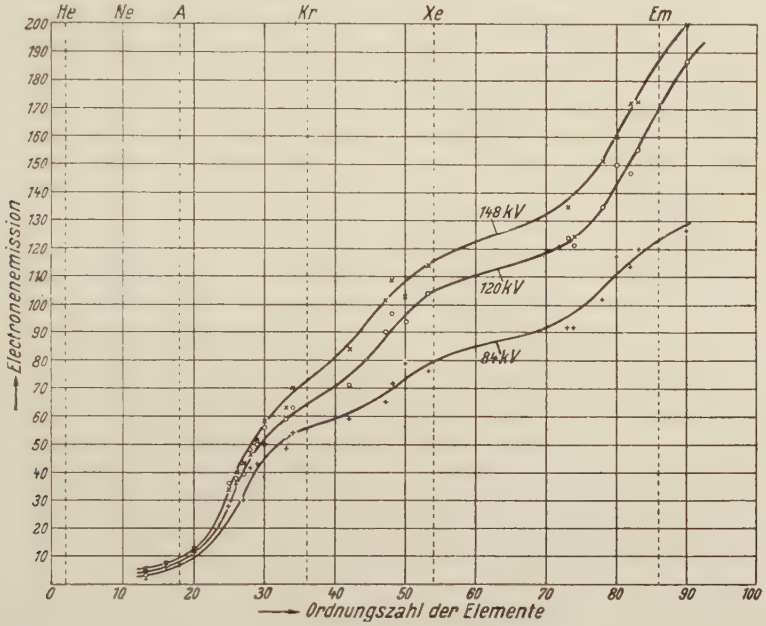


Abb. 5. Emissionsfähigkeit der Elemente für Röntgenelektronen nach Berg und Ellinger.

Wenn die Ionisationswirkung auch keine direkte ist, sondern sich erst auf dem Umwege über die sekundären Träger auswirkt, welche durch die von den Röntgenstrahlen aus den Gasatomen oder -molekülen herausgerissenen Primärelektronen an diesen gebildet werden, so wird doch bei Sättigung die Gesamtionisation der Zahl der von den Röntgenstrahlen ausgelösten Primärelektronen proportional sein. Aus diesem Grunde ist es von Interesse zu erfahren, in welcher Weise die verschiedenen Elemente des periodischen Systems (vgl. Tabelle 16) durch Emission von Primärelektronen auf dieselbe Röntgenstrahlung reagieren. Die umfangreichsten Untersuchungen in dieser Hinsicht verdanken wir Berg und Ellinger. Diese verwendeten zwar nicht Röntgenstrahlen einer bestimmten Wellenlänge allein. Sie arbeiteten vielmehr mit dem ungefilterten Strahlengemisch, das von einer Glühkathodenröntgenröhre bei 84, 120 und 146 kV. Scheitelspannung ausgeht. Die Ionisation an Luft, welche die durch die Röntgenstrahlen aus den Atomen der verschiedenen Elemente herausgerissenen Primärelektronen erzeugen, wurde gemessen und kann angenähert als Maß dienen für die Fähigkeit der Elemente, bei Röntgenbestrahlung Primärelektronen zu emittieren. Die Ergebnisse

sind in Abb. 5 dargestellt. Als Abszisse ist die Stellenzahl der bestrahlten Elemente im periodischen System aufgetragen, als Ordinate ihre Elektronenemission. Das Ergebnis lehrt, daß das Emissionsvermögen eines Elementes für Röntgenelektronen um so größer ist, je höher seine Stellenzahl im periodischen System ist, und daß für ein bestimmtes Element die Zahl der emittierten Elektronen mit der Härte der Röntgenstrahlung zunimmt. Denn, wie wir im X. Kapitel sehen werden, nimmt die mittlere Härte eines Strahlengemisches mit der Scheitelspannung zu, die an der Röhre liegt. Wenn diese mit verhältnismäßig inhomogenen Strahlengemischen erzielten Ergebnisse auch noch keine genauen quantitativen Schlüsse zulassen, so scheint doch ein Gang in der Emissionsfähigkeit der Elemente vorhanden zu sein, der mit den Perioden des periodischen Systems parallel läuft. Die Edelgase, die immer eine Periode des Systems beschließen, sind durch punktierte Linien in Abb. 5 eingetragen, und es scheint so, als ob der Anstieg der Emissionsfähigkeit beim Beginn der Perioden verlangsamt und gegen Ende der Periode beschleunigt wäre.

Tabelle 1. Relative Ionisation an verschiedenen Gasen nach J. J. Thomson.

Gas	q
H_2	0,33
N_2	0,89
O_2	1,1
CO_2	1,4
CO	0,86
NO	1,08
N_2O	1,47
C_2N_2	1,05
C_2H_2	1
H_2S	6
SO_2	6,4
HCl_2	8,9
Cl_2	17,4
NH_3	1 ?
Luft	1,00

Tabelle 2. Relative Ionisation an verschiedenen Gasen, beobachtet und berechnet von J. J. Thomson.

Gas	Ionisation	
	beobachtet	berechnet
CO	0,86	0,85
NO	1,08	0,995
N_2O	1,47	1,44
C_2N_2	1,05	1,49
C_2H_2	1	0,93
H_2S	6	5,63
HCl	8,9	8,86
NH_3	1	0,94

Wir dürfen aus diesen Versuchsergebnissen den Schluß ziehen, daß wir, um eine starke Ionisationswirkung zu erzielen, wie dies zur Messung sehr schwacher Röntgenstrahlen bisweilen nötig ist, die Röntgenstrahlen auf ein Element von hoher Stellenzahl auffallen lassen können. Es geschieht dies entweder, indem wir eine Ionisationskammer mit einem Gase füllen, das schweratomige Elemente enthält, wie z. B. Brom im Bromäthyl, oder, indem wir ein festes Element hoher Stellenzahl so in die Ionisationskammer bringen, daß dieses von den Röntgenstrahlen getroffen wird, und daß die an ihm ausgelösten zahlreichen Primärelektronen an dem Gase der Ionisationskammer die Träger bilden. Wollen wir anderseits reine Luftionisation beobachten, so müssen wir die Ionisationskammer aus möglichst leichtatomigem Material herstellen und peinlichst vermeiden, daß die Röntgenstrahlen schweratomige Elemente treffen, da die von ihnen ausgehende Ionisation die von der Luft herrührende um das Mehrfache übertreffen kann.

Ein wichtiges Gesetz für den Beitrag, den jedes Atom eines Gasmoleküls oder Gasgemisches zur Ionisation liefert, fand J. J. Thomson. Die Ionisation q, die verschiedene Gase relativ zur Luft lieferten, wenn er sie mit demselben Röntgenstrahlengemisch bestrahlte, zeigt Tabelle 1. Thomson fand nun, daß die Ionisation eines Gases nahezu eine additive Eigenschaft seiner Bestandteile ist. Ist 2 (A) der Wert von q für ein Gas A_2, 2 (B) der Wert für ein Gas B_2 usw., dann ist der Wert von q für ein Gas $A_l\, B_m\, C_n$ gleich l (A) + m (B) + n (C). Wenn wir demnach die Zahlen, die in der 2. Spalte der Tabelle 1 für H_2, N_2, O_2, CO_2, SO_2 und Cl_2 angegeben sind, benutzen, um die Werte von 2 (H), 2 (N) usw. zu bestimmen, so finden wir

$$(H) = 0{,}165 \qquad (O) = 0{,}55 \qquad (S) = 5{,}3$$
$$(N) = 0{,}445 \qquad (C) = 0{,}3 \qquad (Cl) = 8{,}7.$$

Wenn wir diese Zahlen zur Berechnung der Ionisation in den anderen Gasen der Tabelle 1 verwenden und das Additionsgesetz benutzen, so erhalten wir die Resultate der Tabelle 2. Es ist demnach mit Ausnahme von C_2N_2 eine Übereinstimmung innerhalb der Fehlergrenzen des Experiments vorhanden.

6. Einfluß der Feuchtigkeit.

Die atmosphärische Luft enthält im allgemeinen einen gewissen Prozentsatz Feuchtigkeit, und es ist zu erwarten, daß wenigstens angenähert derselbe Feuchtigkeitsgrad in der Ionisationskammer vorhanden ist. Es ist von großer Wichtigkeit, zu wissen, ob durch diesen Gehalt an Feuchtigkeit die Ionisation merklich beeinflußt wird. Messungen hierüber sind dem Verfasser nicht bekannt. Es läßt sich indessen zeigen, daß sich auch in mit Wasserdampf gesättigter Luft die Ionisation um weniger als $2\,^0/_{00}$ von der Ionisation an trockener Luft unterscheidet. Berechnet man, nach den Angaben Thomsons, die Ionisation im Wasserdampf, so erhält man

für	H	0,165
„	H	0,165
„	O	0,55
für	H_2O	0,880

Nehmen wir Luft von 18^0 C als mit Wasserdampf gesättigt an, so ist der Partialdruck des Wasserdampfes gleich 15,5 mm Quecksilber. Wenn also bei 760 mm Quecksilber im Wasserdampf die Ionisation relativ zur Luft nur 0,880 beträgt, so beträgt sie bei 15,5 mm nur 0,0179. Da sich der Druck eines Gasgemisches aus den Partialdrucken seiner Komponenten zusammensetzt, so entfällt bei mit Wasserdampf gesättigter Luft von 760 mm Quecksilber auf den trockenen Anteil Luft 744,5 mm Quecksilberdruck. In Luft von diesem Drucke beträgt die relative Ionisation aber nur 0,9803. Die Gesamtionisation in der mit Wasserdampf gesättigten Luft beträgt also

für den Anteil an trockener Luft	0,9803
„ „ „ „ Wasserdampf	0,0179
also für die mit Wasserdampf gesättigte Luft	0,9982

Sie unterscheidet sich also nur um $1{,}8\,^0/_{00}$ von der Ionisation in trockener Luft! Wir dürfen den Feuchtigkeitsgehalt der Luft demnach ruhig vernachlässigen.

7. Die Ionisation in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen.

Läßt man der Reihe nach Röntgenstrahlen abnehmender Wellenlänge auf ein Element fallen, so nimmt die Ionisation für Röntgenstrahlen bestimmter Wellenlänge sprunghaft zu, und zwar fällt die plötzliche Zunahme der Ionisationswirkung zusammen mit einer sprunghaften Steigerung der Absorption, die die Röntgenstrahlen in dem bestrahlten Element erleiden. Für dieselbe Wellenlänge setzt ebenfalls sprunghaft die Emission der charakteristischen sekundären Röntgenstrahlung ein, die dem bestrahlten Element eigen ist. In Abb. 6 ist dieses sprunghafte Auftreten der charakteristischen Strahlung und die sprunghafte Zunahme der Elektronenemission nach Messungen von Barkla und Sadler dargestellt, die mit der sprunghaften Steigerung der Absorption Hand in Hand geht, wenn beispielsweise Eisen bestrahlt wird.

Dieser Umstand läßt eine wichtige Vorsichtsmaßregel geboten erscheinen. Will man die Intensität der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge nach der Ionisationsmethode messen, so muß man sorgsam darauf achten, daß die Ionisationskammer kein

Element enthält, dessen Absorption in dem zu untersuchenden Wellenlängenbereich der Röntgenstrahlen einen Sprung aufweist. Wäre beispielsweise eine Ionisationskammer nicht eisenfrei, und wollte man die Intensität von Röntgenstrahlen der Wellenlängen 2,0 und 1,6 Å[1]) miteinander vergleichen, so würde auch dann, wenn die beiden Intensitäten in Wirklichkeit gleich wären, die Intensität der kurzwelligeren Strahlung im ungünstigsten Falle 38mal so groß erscheinen als die bei der längeren Wellenlänge.

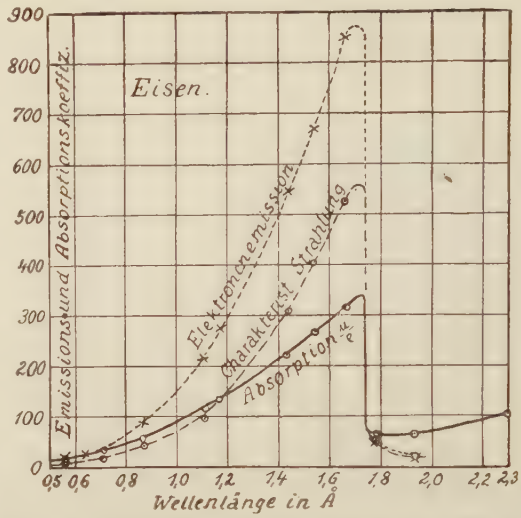


Abb. 6. Massenabsorptionskoeffizienten des Eisens für Röntgenstrahlen nach Sadler und Barkla, und Emissionskoeffizienten des Eisens für Elektronen und charakteristische Strahlung nach Sadler, in Abhängigkeit von der Wellenlänge der primären Röntgenstrahlen.

Kaye hat in der Tabelle 3 nach Messungen von Beatty, Owen, Barkla und Philpot die Ionisationen zusammengestellt, welche Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge in verschiedenen Gasen, relativ zu der Ionisation in Luft, auslösen: hierbei zeigt sich, daß sich die Ionisation an Gasen, die nur Elemente niedriger Stellenzahl enthalten, von der Ionisation an Luft für verschiedene Wellenlängen nur durch einen konstanten Faktor unterscheidet. Demgegenüber steigt die Ionisation am Bromäthyl an einer Stelle, die mit dem Absorptionssprung des Brom zusammenfällt, sprunghaft an, und auch für CH_3J nimmt die Ionisation relativ zu der an Luft mit sinkender Wellenlänge zu.

Tabelle 3. Ionisation, relativ zu der in Luft, für verschiedene Gase und Wellenlängen der Röntgenstrahlen nach Kaye.

λ in Å	Ionisation relativ zu der in Luft (gleich 1 gesetzt)					
	H_2	O_2	CO_2	SO_2	C_2H_5Br	CH_3J
1,93	0,00571	1,37	1,58	11,3	41,2	—
1,65	—	1,35	1,55	11,6	—	162
1,54	0,00573	1,38	1,55	11,8	42,0	152
1,43	0,00570	1,42	1,54	11,5	41,6	—
1,17	0,00573	1,27	1,51	11,7	42,2	158
1,10	—	1,31	1,53	11,8	41,7	—
0,871	—	1,28	1,53	11,8	153	—
0,708	—	1,28	1,54	11,5	213	188
0,562	—	1,32	—	—	272	198
0,487	0,04	1,29	—	—	335	205
0,468	—	1,28	—	—	—	—
0,437	—	—	—	—	—	211
0,388	—	—	—	—	—	251

[1]) 1 Å = 0,000 000 01 cm = 0,000 000 1 mm.

Zweites Kapitel.

Schwächung. Absorption und Streuung.

Wir sahen im I. Kapitel, daß Ionisation nur dann auftreten kann, wenn durch die Energie der Röntgenstrahlen Planetenelektronen aus ihrem Atomverbande losgerissen werden und dank ihrer Geschwindigkeit beim Zusammenstoß mit Gasmolekülen diese ionisieren. Auch die zu diesem eigentlichen Ionisationsvorgange erforderliche Energie verdanken die Elektronen der Röntgenstrahlung. Energie kann niemals verlorengehen oder gewonnen werden. Die Energie kann nur ihre Erscheinungsform wechseln. Die zum Ionisationsvorgang erforderliche Energie muß also den Röntgenstrahlen verloren gehen. Nur dann, wenn Röntgenstrahlung absorbiert wird, kann Ionisation entstehen. Zur genauen Kenntnis des Ionisationsvorganges ist deshalb die Kenntnis der Absorptionsgesetze der Röntgenstrahlen von Wichtigkeit.

Wenn Röntgenstrahlung ein Medium durchsetzt, so wird sie geschwächt. Aber nur ein Teil der Schwächung entfällt auf die Absorption. Ein anderer Teil wird gestreut. Die Kenntnis der Streugesetze der Röntgenstrahlen ist aus einem zweifachen Grunde von Wichtigkeit. Einerseits wird die Verteilung der Röntgenstrahlung in der Körpertiefe wesentlich durch die Streuung der Röntgenstrahlen bestimmt. Anderseits ist, wie neueste Untersuchungen gelehrt haben, auch mit dem Streuvorgange eine Ionisationswirkung verknüpft. Auch bei diesem wird ein bestimmter Bruchteil der Röntgenenergie absorbiert, der zur Ionisation verbraucht wird, und um diesen Bruchteil an Energie ist die gestreute Strahlung ärmer geworden.

1. Schwächung.

Tritt Röntgenstrahlung der Intensität J_0 in ein Medium ein, so ist sie nach Durchlaufen von d cm auf den Wert J geschwächt. Den Zusammenhang zwischen diesen Größen gibt die Gleichung:

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu d}. \qquad (2)$$

Hierin bedeutet μ den sog. „Schwächungskoeffizienten". Mit Hilfe der Tabelle 4 kann man für jedes bekannte μ die Intensität in einer bestimmten Tiefe d bestimmen: für jedes $\mu d = x$ liefert die Tabelle 4 den Wert e^{-x}, den man mit J_0 zu multiplizieren hat, um J zu erhalten.

Die experimentelle Bestimmung des Schwächungskoeffizienten μ für Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge und für die verschiedenen Elemente des periodischen Systems als schwächende Medien hat keine prinzipielle Schwierigkeit. Man braucht nur die Dicke d des schwächenden Mediums, die Intensität J_0 der Röntgenstrahlen vor Eintritt in dasselbe und ihre Intensität J nach Wiederaustritt aus diesem zu bestimmen, um mit Hilfe der Tabelle den Schwächungskoeffizienten zu erhalten. $e = 2{,}7183$ ist die Basis des natürlichen Logarithmensystems.

Hierzu sei bemerkt, daß dieses Verfahren, bei Anwendung der Ionisationsmethode, den Schwächungskoeffizienten absolut liefert, d. h. unabhängig von der Wellenlängenempfindlichkeit der Ionisationskammer, wenn man mit monochromatischer, also spektral zerlegter Röntgenstrahlung arbeitet. Denn die Wellenlänge einer monochromatischen Röntgenstrahlung ändert sich beim Durchtritt durch ein Filter nicht, man mißt also mit und ohne schwächendes Medium J und J_0 bei derselben Wellenlänge, für die die Empfindlichkeit der Ionisationskammer dieselbe ist.

Tabelle 4. Werte von e^{-x}.

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00.	0,....	9990	9980	9970	9960	9950	9940	9930	9920	9910
0,01.	9900	9891	9881	9871	9861	9851	9841	9831	9822	9812
0,02.	9802	9792	9782	9773	9763	9753	9743	9734	9724	9714
0,03.	9704	9695	9685	9675	9666	9656	9646	9637	9627	9618
0,04.	9608	9598	9589	9579	9570	9560	9550	9541	9531	9522
0,05.	9512	9503	9493	9484	9474	9465	9455	9446	9437	9427
0,06.	9418	9408	9399	9389	9380	9371	9361	9352	9343	9333
0,07.	9324	9315	9305	9296	9287	9277	9268	9259	9250	9240
0,08.	9231	9222	9213	9204	9194	9185	9176	9167	9158	9148
0,09.	9139	9130	9121	9112	9103	9094	9085	9076	9066	9057
0,10.	0,9048	9039	9030	9021	9012	9003	8994	8985	8976	8967
0,11.	8958	8949	8940	8932	8923	8914	8905	8896	8887	8878
0,12.	8869	8860	8851	8843	8834	8825	8816	8807	8799	8790
0,13.	8781	8772	8763	8755	8746	8737	8728	8720	8711	8702
0,14.	8694	8685	8676	8668	8659	8650	8642	8633	8624	8616
0,15.	8607	8598	8590	8581	8573	8564	8556	8547	8538	8530
0,16.	8521	8513	8504	8496	8487	8479	8470	8462	8454	8445
0,17.	8437	8428	8420	8411	8403	8395	8386	8378	8369	8361
0,18.	8353	8344	8336	8328	8319	8311	8303	8294	8286	8278
0,19.	8270	8261	8253	8245	8237	8228	8220	8212	8204	8195
0,2.	0,8187	8106	8025	7945	7866	7788	7711	7634	7558	7483
0,3.	7408	7334	7261	7189	7118	7047	6977	6907	6839	6771
0,4.	6703	6637	6570	6505	6440	6376	6313	6250	6188	6126
0,5.	6065	6005	5945	5886	5827	5769	5712	5655	5599	5543
0,6.	0,5488	5434	5379	5326	5273	5220	5169	5117	5066	5016
0,7.	4966	4916	4868	4819	4771	4724	4677	4630	4584	4538
0,8.	4493	4449	4404	4360	4317	4274	4232	4190	4148	4107
0,9.	4066	4025	3985	3946	3906	3867	3829	3791	3753	3716
1,0.	3679	3642	3606	3570	3534	3499	3465	3430	3396	3362
1,1.	0,3329	3296	3263	3230	3198	3166	3135	3104	3073	3042
1,2.	3012	2982	2952	2923	2894	2865	2837	2808	2780	2753
1,3.	2725	2698	2671	2645	2618	2592	2567	2541	2516	2491
1,4.	2466	2441	2417	2393	2369	2346	2322	2299	2276	2254
1,5.	2231	2209	2187	2165	2144	2122	2101	2080	2060	2039
1,6.	0,2019	1999	1979	1959	1940	1920	1901	1882	1864	1845
1,7.	1827	1809	1791	1773	1755	1738	1720	1703	1686	1670
1,8.	1653	1637	1620	1604	1588	1572	1557	1541	1526	1511
1,9.	1496	1481	1466	1451	1437	1423	1409	1395	1381	1367
2,.	0,1353	1225	1108	1003	0907	0821	0743	0672	0608	0550
3,.	0498	0450	0408	0369	0334	0302	0273	0247	0224	0202
4,.	0183	0166	0150	0136	0123	0111	0101	0091	0082	0074
5,.	0067	0061	0055	0050	0045	0041	0037	0034	0030	0027
6,.	0025	0022	0020	0018	0017	0015	0014	0012	0011	0010
7,.	0009	0007	0007	0007	0006	0006	0005	0005	0004	0004
8,.	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002	0001

2. Absorption.

Wie wir schon im I. Kapitel sahen, nimmt beim Übergang von langen zu kurzen Wellenlängen der Röntgenstrahlen die Absorption in einem bestimmten chemischen Element für eine bestimmte Wellenlänge sprunghaft zu, um bei weiterer Steigerung der Wellenlänge wieder allmählich abzunehmen. In Abb. 6 war dieses für Eisen dargestellt, und es wurde dort schon darauf hingewiesen, daß die Wellenlänge dieser sog. „Absorptionsbandkante" in enger Beziehung zur charakteristischen Strahlung des absorbierenden Elements steht. Wir wollen an dieser Stelle von einer näheren Erörterung dieses Absorptionssprunges absehen, um an späterer Stelle darauf zurückzukommen. Wir erstrecken unsere Betrachtungen hier nur auf denjenigen Wellenlängenbereich, der kurzwelliger ist als die Absorptionsbandkante der härtesten Spektralserie, der K-Serie, in dem die Absorption also stetig mit der Wellenlänge abnimmt.

Die ersten Messungen der Absorption der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge durch die verschiedenen chemischen Elemente rühren von Barkla und Sadler her und stammen aus einer Zeit, in der man noch annahm, daß die Schwächung der Röntgenstrahlen in einem Medium identisch sei mit deren Absorption in diesem. Im Anschluß an diese Messungen, die sich nur auf verhältnismäßig langwellige, ziemlich monochromatische Röntgenstrahlen beziehen, konnten Kossel und Siegbahn zeigen, daß für alle Elemente ein universelles Absorptionsgesetz gilt. Ist nämlich ρ die Dichte des schwächenden Elements und λ die Wellenlänge der Röntgenstrahlen, so läßt sich die allgemein gültige Gleichung

$$\frac{\mu}{\rho} = A \cdot \lambda^b \tag{3}$$

aufstellen, worin A und b Konstanten sind. Und zwar hat b im allgemeinen denselben Wert für alle Elemente und Wellenlängen, während A von der Stellenzahl des schwächenden Elements im periodischen System abhängt.

Weitere Ausdehnung der Untersuchungen in ein kurzwelligeres Röntgengebiet als das von Barkla und Sadler untersuchte zeigten indessen Abweichungen vom Absorptionsgesetz von Kossel und Siegbahn. Glocker erklärte diese durch die Streuung der Röntgenstrahlen.

3. Streuung.

Seit Laues Entdeckung der Röntgenspektroskopie im Jahre 1912 wissen wir, daß Röntgenstrahlung nichts anderes ist als kurzwellige Lichtstrahlung. Tritt sichtbares Licht durch ein trübes Medium, beispielsweise durch Nebel, so wird ein Teil desselben aus seiner Bahn abgelenkt, es wird gestreut. Für Röntgenstrahlen verhält sich alle Materie wie ein trübes Medium. Die gestreute Strahlung geht der Primärstrahlung verloren und macht deshalb einen Teil der Gesamtschwächung aus, die die Primärstrahlung im Medium erleidet.

Dementsprechend wies Glocker darauf hin, daß sich der Ausdruck $A \cdot \lambda^b$ nur auf die Absorption beziehe und daß die Gleichung (3) für $\frac{\mu}{\rho}$, den „Schwächungskoeffizienten pro Masseneinheit", in folgende Form abgeändert werden muß:

$$\frac{\mu}{\rho} = A \cdot \lambda^b + \frac{\sigma}{\rho}, \tag{4}$$

worin σ den „Streuungskoeffizienten" und $\frac{\sigma}{\rho}$ den „Streukoeffizienten pro Masseneinheit" bedeutet. Barkla und Sadler hatten gefunden, daß dieser für leichtatomige Elemente

Tabelle 5. $\frac{\sigma}{\rho}$ nach Barkla und Sadler.

Material	$\frac{\sigma}{\rho}$ für mittelweiche Strahlen	$\frac{\sigma}{\rho}$ für weiche Strahlen	Atomgewicht	Beobachter
Luft	0,2		14 u. 16	Barkla
C	0,2	0,2	12	Barkla und Sadler
Al	0,2	0,4?	27	Barkla und Sadler
Cu	0,4	1,5	63	Barkla und Sadler
Ag	1,5	—	108	Barkla und Sadler

nahezu unabhängig von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen den Wert 0,2 besitzt (Tabelle 5). Nach den Untersuchungen von Kossel und Siegbahn war der Exponent b nicht viel kleiner als 3; infolgedessen muß bei langwelligen Röntgenstrahlen das Glied $A\lambda^b$ groß gegen $\frac{\sigma}{\rho}$ werden, so daß die Schwächung praktisch gleich der Absorption ist. Aus diesem Grunde erhielten Barkla und Sadler bei ihren oben erwähnten Messungen, die eigentlich Schwächungsmessungen und keine reinen Absorptionsmessungen waren, dennoch gute Werte für die Absorption, denn sie arbeiteten nur mit verhältnismäßig langwelligen Strahlen. Demgegenüber wird aber auch bei großen Werten von A für hinreichend kleines λ der Massenstreuungskoeffizient $\frac{\sigma}{\rho} = 0{,}2$ vergleichbar werden mit $A\lambda^b$. Auf Grund dieser Überlegung konnte Glocker die Übereinstimmung seiner Formel mit den Messungen für langwellige und kurzwellige Röntgenstrahlen auch quantitativ dartun.

4. Schwächung = Absorption + Streuung.

Durch die unter 1. geschilderte Methode mißt man den Schwächungskoeffizienten, also die Summe von Absorptionskoeffizienten und Streukoeffizienten. Eine wichtige Aufgabe ist aber die, die beiden letzteren einzeln zu bestimmen. Hierzu ist entweder eine weitere Einzelmessung des einen von beiden oder eine weitere Annahme nötig.

Tabelle 6. Massenschwächung = Massenabsorption + Massenstreuung.

Medium	$\frac{\mu}{\rho} = A \cdot \lambda^3 + \frac{\sigma}{\rho}$	
Kohlenstoff	$1{,}0 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	gemessen
Aluminium	$14{,}5 \cdot \lambda^3 + 0{,}16$	„
Kupfer	$147 \cdot \lambda^3 + 0{,}50$	„
Wasser	$2{,}5 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	„
Blut	$2{,}5 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	berechnet
Fettgewebe	$1{,}6 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	„
Muskel	$2{,}2 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	„
Knochen	$11 \cdot \lambda^3 + 0{,}18$	„
Luft	$2{,}6 \cdot \lambda^3 + 0{,}17$	„

In neuester Zeit wurden Schwächung, Absorption und Streuung pro Masseneinheit für verschiedene Elemente und verschiedene Wellenlängen der Röntgenstrahlen von Richtmyer, Hewlett, Duane und Mazumder untersucht. Diese arbeiteten mit spektral zerlegter, also vollkommen monochromatischer Röntgenstrahlung. Sie erhielten Absorptions- und Streuungskoeffizienten pro Masseneinheit dabei auf Grund der Annahme, daß für harte Strahlen dasselbe Absorptionsgesetz gelte wie für

weiche, und daß die beobachtete Abweichung des gemessenen Schwächungskoeffizienten von dem im Gebiet weicher Röntgenstrahlen bestimmten Absorptionskoeffizienten gleich sei der Streuung pro Masseneinheit. Ihre Ergebnisse sind im Auszug in Tabelle 6 zusammengestellt.

Sie fanden:

a) Die Konstante A ist mit großer Genauigkeit proportional der dritten Potenz der Stellenzahl Z des absorbierenden Elements im periodischen System (Tabelle 16);

b) es ist b = 3, d. h. der Absorptionskoeffizient steigt proportional mit der dritten Potenz der Wellenlänge an;

c) für leichte Elemente ist $\frac{\sigma}{\rho}$ nahezu gleich 0,18 und imwesentlichen unabhängig von der Wellenlänge.

Für leichte Elemente nimmt daher die Glockersche Formel die Gestalt an:

$$\frac{\mu}{\rho} = A \cdot \lambda^3 + 0{,}18 = \text{konstans} \cdot Z^3 \cdot \lambda^3 + 0{,}18 . \tag{5}$$

Der Wert der Konstanten ist etwa 0,00612.

5. Schwächung für chemische Verbindungen und Gemische.

Kennen wir das Schwächungsgesetz für die einzelnen Elemente, aus denen sich eine chemische Verbindung oder ein Gasgemisch zusammensetzt, so können wir nach Benoist auch das Schwächungsgesetz für die chemische Verbindung oder für das Gasgemisch berechnen. Bedeuten $\frac{\mu_1}{\rho_1}, \frac{\mu_2}{\rho_2} \ldots$ die Massenschwächungskoeffizienten der Komponenten und sind P_1, $P_2 \ldots$ die Gewichtsprozente, nach denen sie im Gemisch vorhanden sind, so ist der Massenschwächungskoeffizient des Gemisches oder der Verbindung

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu_1}{\rho_1} \cdot P_1 + \frac{\mu_2}{\rho_2} \cdot P_2 + \ldots . \tag{6}$$

Ebensogut kann man auch folgendermaßen rechnen. Enthält 1 Molekül vom Molekulargewicht M einer chemischen Verbindung N_1 Atome des ersten, N_2 Atome des zweiten Elements usf., und sind A_1, A_2 usf. deren Atomgewichte, $\frac{\mu_1}{\rho_1}, \frac{\mu_2}{\rho_2}$ usf. deren Schwächungskoeffizienten pro Masseneinheit, so ist der Massenschwächungskoeffizient der Verbindung

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{M} \cdot \left[\frac{\mu_1}{\rho_1} \cdot A_1 \cdot N_1 + \frac{\mu_2}{\rho_2} \cdot A_2 \cdot N_2 + \ldots \right] . \tag{7}$$

Die Tabelle 6 zeigt die Absorptions- und Streuungskoeffizienten pro Masseneinheit für eine Reihe Bestandteile des menschlichen Körpers, die vom Verfasser nach dieser Formel berechnet wurden. Es erweist sich, daß für diese angenähert dieselben Zahlenwerte gelten, und zwar sind es dieselben Zahlenwerte, die an Wasser experimentell ermittelt wurden. Wir können hieraus den für die Dosismessung sehr wichtigen Schluß ziehen, daß Wasser für Phantommessungen ein außerordentlich günstiges Medium darstellt.

6. Berechnung der Schwächung, Absorption und Streuung von Luft.

Die Zusammensetzung der Luft beträgt nach Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, Tabelle 6, in Gewichtsprozenten:

Element	Z	Atomgewicht	Gewichtsprozente	Absorptionsbandkante
Sauerstoff	8	16,00	23,2	
Stickstoff	7	14,01	75,5	
Argon	18	39,88	1,3	3,866 Å
Krypton	36	82,92	0,028	ca. 0,850 Å
Xenon	54	130,2	0,005	„ 0,359 Å.

Die Röntgenstrahlung, deren Ionisation vielfach gemessen werden muß, ist meist kurzwelliger als die K-Absorptionsbandkante des Argon; sie kann aber sowohl härter als weicher sein als die K-Absorptionsbandkante von Krypton und Xenon. Wir müssen also zunächst berücksichtigen, daß bei diesen beiden Gasen oberhalb und unterhalb der Absorptionsbandkante andere Konstanten in die Glockersche Formel eingesetzt werden müssen. Diese Konstanten ergeben sich für die einzelnen Elemente aus den Messungen von Richtmyer und Hewlett wie folgt:

$$
\begin{aligned}
&\text{Sauerstoff:} && \frac{\mu}{\rho} = 2{,}66 \cdot \lambda^3 + 0{,}165 && \text{für } \lambda < \lambda_A \\
&\text{Stickstoff:} && \frac{\mu}{\rho} = 1{,}98 \cdot \lambda^3 + 0{,}168 && \text{„ } \lambda < \lambda_A \\
&\text{Argon:} && \frac{\mu}{\rho} = 33 \cdot \lambda^3 + 0{,}160 && \text{„ } \lambda < \lambda_A \\
&\text{Krypton:} && \frac{\mu}{\rho} = 293 \cdot \lambda^3 + 0{,}256 && \text{„ } \lambda < \lambda_A \\
& && \frac{\mu}{\rho} = 30 \cdot \lambda^3 + 0{,}8 && \text{„ } \lambda > \lambda_A \\
&\text{Xenon:} && \frac{\mu}{\rho} = 825 \cdot \lambda^3 + 1{,}2 && \text{„ } \lambda < \lambda_A \\
& && \frac{\mu}{\rho} = 140 \cdot \lambda^3 + 0{,}8 && \text{„ } \lambda > \lambda_A
\end{aligned}
$$

wobei bedeutet:
μ = Schwächungskoeffizient;
ρ = Dichte;
λ = Wellenlänge in Å;
λ_A = Absorptionsbandkante der K = Serie;
Z = Stellenzahl im periodischen System.

Aus diesen Schwächungskoeffizienten der einzelnen Komponenten ergibt sich für den des Gemisches Luft nach Benoist:

$$
\left.
\begin{aligned}
\frac{\mu}{\rho} &= 2{,}56 \cdot \lambda^3 + 0{,}17 \text{ für } \lambda > 0{,}850 \text{ Å} \\
\frac{\mu}{\rho} &= 2{,}63 \cdot \lambda^3 + 0{,}17 \text{ „ } 0{,}850 \text{ Å} > \lambda > 0{,}359 \text{ Å} \\
\frac{\mu}{\rho} &= 2{,}66 \cdot \lambda^3 + 0{,}17 \text{ „ } \lambda < 0{,}359 \text{ Å}
\end{aligned}
\right\} \quad (8)
$$

oder, wenn man die Dichte der Luft bei 0^0 C und 1 Atmosphäre gleich 0,001293 setzt, für deren Schwächungskoeffizienten:

$$
\left.
\begin{aligned}
\mu &= 0{,}00331 \cdot \lambda^3 + 0{,}00022 \text{ für } \lambda > 0{,}850 \text{ Å} \\
\mu &= 0{,}00340 \cdot \lambda^3 + 0{,}00022 \text{ „ } 0{,}850 \text{ Å} > \lambda > 0{,}359 \text{ Å} \\
\mu &= 0{,}00344 \cdot \lambda^3 + 0{,}00022 \text{ „ } \lambda < 0{,}359 \text{ Å}
\end{aligned}
\right\} \quad (9)
$$

Ist J_A die auf dem Wege von d cm absorbierte, J_σ die auf diesem Wege gestreute und J_0 die einfallende Energie, so erhält man unter Verwendung der Gleichungen (2) und (4)

$$J_A = \frac{A\lambda^3}{\mu/\rho}\left(1 - e^{-\mu d}\right) \cdot J_0 \qquad (10)$$

und

$$J_\sigma = \frac{\sigma}{\mu/\rho}\left(1 - e^{-\mu d}\right) \cdot J_0 . \qquad (11)$$

Dann ist das Verhältnis der gestreuten zur absorbierten Energie

$$\frac{J_\sigma}{J_A} = \frac{\sigma}{A \cdot \lambda^3 \rho} . \qquad (12)$$

Berechnet man dieses für Luft und Wasser und für verschiedene Wellenlängen der Röntgenstrahlen, und ermittelt man hieraus den gestreuten und absorbierten Anteil in Prozenten der Gesamtschwächung, so erhält man die in Abb. 7 dargestellte Kurve. Das gleiche Ergebnis bei Wasser und Luft ist darauf zurückzuführen, daß die Zahlenwerte für die Schwächung recht gut übereinstimmen, wie Tabelle 5 lehrt. Die Kurve zeigt, daß bei weichen Strahlen der größte Teil absorbiert, bei harten Strahlen der größte Teil gestreut wird; bei einer Wellenlänge von 0,2 Å werden 90% gestreut und 10% absorbiert, bei 0,1 Å werden etwa 99% gestreut und 1% absorbiert!

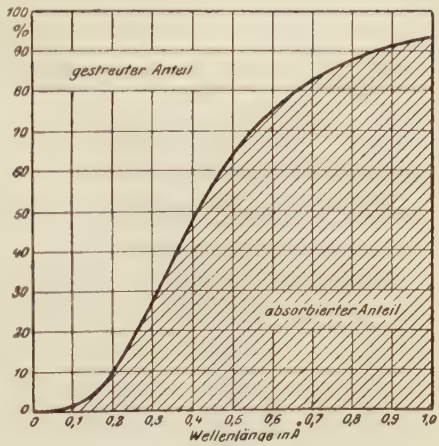


Abb. 7. Absorption und Streuung in Prozenten der Schwächung für Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge in Wasser und Luft nach Küstner.

7. Neuere Einzelmessungen des Streukoeffizienten.

Wir hatten oben erwähnt, daß nach den ersten Messungen, die von Barkla und Sadler herrühren, der Streukoeffizient pro Masseneinheit für leichtatomige Elemente nahezu unabhängig von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen den Wert 0,2 besitzt. Wie wir heute wissen, sind γ-Strahlen außerordentlich kurzwellige Röntgenstrahlen. Messungen des Streukoeffizienten der γ-Strahlen, die von verschiedener Seite vorgenommen wurden, hatten einen wesentlich kleineren Streukoeffizienten pro Masseneinheit als 0,2 ergeben. Es scheint demnach so, als ob auch der Streukoeffizient von der Wellenlänge abhängig sei, und zwar, als ob er mit dieser abnehme. Untersuchungen in dieser Richtung sind von verschiedener Seite durchgeführt worden.

Tabelle 7. Abnahme des Streukoeffizienten pro Masseneinheit $\frac{\sigma}{\rho}$ mit der Wellenlänge nach Barkla und Sale.

Streustrahler	Im Wellenlängenbereich in Å	Änderung von $\frac{\sigma}{\rho}$ in %
C (Papier)	0,68—0,33	10
Al	0,48—0,33	18
Cu	0,48—0,33	30

Barkla und Sale ließen bei verschiedenen Spannungen und Filterungen hergestellte Röntgenstrahlengemische auf verschiedene Medien fallen und maßen die unter einem Winkel von 90° von diesen ausgehende Streustrahlung nach der Ionisationsmethode. Tabelle 7 zeigt, daß innerhalb der Wellenlängenbereiche, die ihre Strahlungsgemische im Mittel repräsentieren, der Massenstreuungskoeffizient mit der Wellenlänge merklich abnimmt. Nach einer anderen Methode arbeitete Statz. Er bestimmte die Massenschwächung und, auf einem von Neukirchen angegebenen Wege, die Massenabsorption für Aluminium und Wasser getrennt. Die Differenz beider Ergebnisse liefert den Streukoeffizienten pro Masseneinheit. Während dieser bei Aluminium eine Abnahme mit der

Wellenlänge aufweist (Tabelle 8), konnte Statz bei Wasser keinen Gang mit der Wellenlänge nachweisen.

Wenn wir demnach auch annehmen müssen, daß auch der Streukoeffizient pro Masseneinheit etwas mit der Wellenlänge abnimmt, so ist doch eine so starke Wellenlängenabhängigkeit wie beim Absorptionskoeffizienten pro Masseneinheit sicherlich nicht zu erwarten. Aus diesem Grunde werden auch Tabelle 6 und Abb. 7, die unter der Annahme eines konstanten Streuungskoeffizienten berechnet wurden, die Verhältnisse einigermaßen richtig wiedergeben.

Tabelle 8. Schwächung μ, Absorption $\bar{\mu}$ und Streuung σ pro Masseneinheit für harte Röntgenstrahlen an Aluminium nach Statz.

λ in A	$\frac{\mu}{\rho}$	$\frac{\bar{\mu}}{\rho}$	$\frac{\sigma}{\rho}$
0,082	0,137	0,0074	0,130
0,173	0,227	0,066	0,161
0,225	0,309	0,162	0,147
0,373	0,820	0,664	0,156
0,458	1,44	1,18	0,26

Drittes Kapitel.

Streuung. Ionisation bei der Streuung.

I. Streuung an gebundenen Elektronen.

Nach unserer im I. Kapitel entwickelten Vorstellung werden die Kerne der Atome von Planetenelektronen umkreist. Wir befassen uns zunächst mit dem Streuungsvorgang an gebundenen Elektronen. Hierunter verstehen wir solche Elektronen, die beim Streuungsvorgange nicht aus dem Verbande ihres Atoms gerissen werden. Da dieser Streuungsvorgang, gemeinsam mit jenem an freien Elektronen, bei der Tiefendosierung eine wichtige Rolle spielt, so sollen die Gesetze der Streustrahlung am gebundenen Atomelektron hier behandelt werden.

J. J. Thomson hat die Theorie der Streustrahlung auf dem Boden der klassischen Elektrodynamik entwickelt. Er ging dabei von der Voraussetzung aus, daß Röntgenstrahlung eine elektromagnetische Strahlung im Sinne Maxwells sei wie das Licht. Sie ist charakterisiert dadurch, daß ein elektrischer Zustand transversal oder rechtwinklig zur Fortpflanzungsrichtung schwingt. Thomson nahm an, daß jedes Elektron des Atoms unter Einwirkung dieses transversalen elektrischen Feldes in Schwingungen versetzt werde und die hierbei absorbierte Energie wiederum nach allen Richtungen ausstrahle. Die von einem Atom ausgehende Streustrahlung muß demnach der Elektronenzahl im Atom proportional sein. Aus Thomsons Theorie ergeben sich zwei wichtige Folgerungen.

Barkla und Sadler hatten den Streuungskoeffizienten pro Masseneinheit $\frac{\sigma}{\rho}$ bestimmt und ihn für leichtatomige Streustrahler zu 0,2 gefunden (Tabelle 5). Aus Thomsons Theorie folgt aber, daß

$$\frac{\sigma}{\rho} = K \cdot \frac{Z}{A} \tag{13}$$

sein muß, wobei K eine universelle, von der Natur des Strahlers unabhängige Größe ist, deren Wert sich zu 0,40 ergibt; Z ist die Zahl der Planetenelektronen im Atom, und

A dessen Atomgewicht, bezogen auf Wasserstoff gleich 1. Kombination dieser Gleichung mit dem Barklaschen Werte $\frac{\sigma}{\varrho} = 0{,}2$ liefert

$$\frac{Z}{A} = \frac{0{,}2}{0{,}4} = 0{,}5. \tag{14}$$

D. h. für leichtatomige Elemente muß die Zahl der Elektronen im Atom gleich dem halben Atomgewicht sein. Dieser Satz ist von großer Tragweite für das Rutherford-Bohrsche Atommodell geworden, das wir im IV. Kapitel besprechen werden.

Tabelle 9. Intensität der Streustrahlung und Atomgewicht des Streustrahlers.

Element	Atomgewicht A	Relative Intensität J_σ der gestr. Strahlung	$\frac{J_\sigma}{A}$
H	1,0	1,7	1,7
He	4,0	4,5	1,1
C	12,0	12,0	1,0
N	14,0	14,0	1,0
O	16,0	16,0	1,0

Crowther hat das relative Emissionsvermögen verschiedener Elemente für Streustrahlung gemessen (Tabelle 9) und fand, entsprechend Thomsons Ergebnis, Proportionalität mit dem Atomgewicht. Man kann dementsprechend das relative Streuvermögen verschiedener Verbindungen als additive Eigenschaft der Atome berechnen, wie Tabelle 10 zeigt.

Tabelle 10. Die Streufähigkeit ist eine additive Eigenschaft des Atoms.

Substanz	Relative Intensität der gestreuten Strahlung	
	beobachtet	berechnet
NH_3	0,66	0,66
N_2O	1,53	1,53
$CH_3CO_2CH_3$	2,74	2,72
$C_2H_4Br_2$	433	445

Nach dem Gesetz von Avogadro enthalten alle Gase bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gleichviel Moleküle im Kubikzentimeter. Unter diesen Bedingungen müssen sich also die Dichten wie die Molekulargewichte oder, wegen Thomsons Gleichung (14), wie die Elektronenzahlen im Molekül verhalten. Da aber die Streuung diesen proportional ist, so muß sich auch das Streuvermögen von Gasen verhalten wie ihre Dichten. Die Messungen von Crowther und Barkla (Tabelle 11) bestätigen das innerhalb der Versuchsfehler.

Bei all diesen Messungen macht Wasserstoff allein eine Ausnahme; diese erklärt sich leicht daraus, daß für ihn als einziges Element $\frac{Z}{A} = 1$ ist.

Die andere wichtige Folgerung aus Thomsons Theorie ist die, daß die Streustrahlung polarisiert sein muß. In der Tat gelang es Barkla, die Polarisation der Röntgenstrahlen experimentell nachzuweisen, ein Ergebnis, welches gemeinsam mit Laues Entdeckung der Röntgenstrahlinterferenz den Nachweis dafür liefert, daß Röntgenstrahlung nichts anderes ist, als kurzwellige Lichtstrahlung.

Einen wichtigen Fortschritt brachte der Gedanke Debyes, daß die von den einzelnen Elektronen des Atoms ausgehenden Streustrahlen je nach dem Abstande der streuenden Elektronen, je nach der Wellenlänge der Röntgenstrahlen und je nach

Tabelle 11.
Relative Intensität der senkrecht zur Primärstrahlung gestreuten Strahlung.

Gas	Relative Intensität der senkrecht zur Primärstrahlung gestreuten Strahlung J_σ	Relative Dichte des Gases D	$\frac{J_\sigma}{D}$	Beobachter
Luft	1,00	1,00	1,00	
H_2	0,12	0,07	1,71	
He	0,16	0,14	1,14	
NH_3	0,66	0,59	1,12	
N_2	0,97	0,97	1,00	Crowther
O_2	1,12	1,11	1,00	
N_2O	1,53	1,53	1,00	
CO_2	1,54	1,53	1,00	
SO_2	2,80	2,22	1,26	
$CH_3CO_2CH_3$	2,72	2,57	1,06	
H_2	0,17	0,07	2,4	
H_2S	1,08	1,18	0,92	Barkla
CO_2	1,45	1,53	0,95	
SO_2	2,11	2,19	0,96	

dem Winkel, unter dem sie gestreut werden, miteinander zur Interferenz kommen müssen und sich so überlagern oder auslöschen können.

Glocker erweiterte die Betrachtungen Debyes, indem er von dessen einfach ringförmigem Atommodell auf das Bohrsche Atom mit mehreren Planetenbahnen in ebener und räumlicher Anordnung überging. Abb. 8 zeigt das Ergebnis der Glockerschen Rechnung für die vom Kohlenstoffatom ausgehende Verteilung der Streustrahlung für verschiedene Wellenlängen, und zwar von den weichsten, die eine Röntgenröhre verlassen können, bis zu den härtesten, die überhaupt in der modernen Tiefentherapie auftreten. Verbindet man das streuende Atom C mit einem Kurvenpunkte, so ergibt diese Linie die Richtung, ihre Länge die Intensität der Streustrahlung in dieser Richtung. Für alle Wellenlängen zeigt sich die erhebliche Bevorzugung der Primärstrahlrichtung gegenüber der entgegengesetzten und der senkrecht dazu. Je härter die Strahlung ist, umso schärfer ist die Streustrahlung nach vorn gerichtet. Wenn die Verteilung der Streustrahlung auch für andere streuende Atome verschieden ist, so ist doch anzunehmen, daß sie für die leichtatomigen Verbindungen, aus denen sich der menschliche Organismus aufbaut, ähnlich sein wird. Dieser Umstand dürfte auch mit zur Erklärung der scharfen Begrenzung beitragen, die der Strahlenkegel auch in großen Körpertiefen nach den im XIX. Kapitel zu besprechenden Isodosenkurven von Holfelder aufweist.

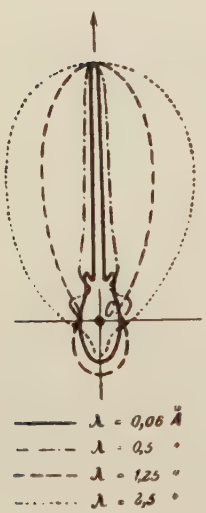


Abb. 8. Die räumliche Streufähigkeit des Kohlenstoffatoms für Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge nach Glocker.

Alle bisher behandelten Theorien über den Streuungsvorgang sind auf der Grundlage der klassischen Elektrodynamik entwickelt. Das Elektron wird hierbei als elastisch an das Atom gebunden angesehen und vermag dieses nicht zu verlassen. Unter Einwirkung der Röntgenstrahlen schwingt es als Resonator, indem es

alle absorbierte Energie restlos wieder ausstrahlt, nur in anderer Richtung als die Erregerstrahlen. Das Elektron verbraucht bei diesem Vorgange keine Energie. Als Resonanzvorgang am Atomelektron gedeutet muß diese Streustrahlung auch die gleiche Wellenlänge besitzen wie die Primärstrahlung. Eine Ionisierungswirkung ist mit diesem Streuvorgange am gebundenen Elektron nicht verbunden.

II. Streuung an freien Elektronen.

1. Die Entdeckung von Compton und von Bothe.

Das bis vor kurzem immer als selbstverständlich angenommene Gesetz, daß die gestreute Strahlung stets genau die gleiche Härte besitze wie die primäre, unterzog Compton im Jahre 1923 einer genauen Prüfung. Hierzu ließ er die charakteristische Strahlung, welche von der Antikathode jeder Röntgenröhre ausgeht, in einen Spektralapparat fallen, und zwar einmal direkt und einmal, nachdem sie zuvor an einem leichtatomigen Material gestreut worden war. Hierbei zeigte sich, daß die Spektrallinien, deren jede eine ganz bestimmte Wellenlänge besitzt, durch die Streuung langwelliger geworden waren: das auf dem Umwege über den Streustrahler aufgenommene Linienspektrum fiel nicht mit dem direkt aufgenommenen zusammen, sondern es lag, deutlich erkennbar, auf der Platte neben diesem.

Etwa zu gleicher Zeit machte Bothe photographische Aufnahmen nach der Wilsonschen Nebelmethode. Auf diesen zeigten sich außer den langen Elektronenbahnen auch solche von außerordentlich geringer Länge, und Bothe sprach dieselben als von einem neuen, bisher unbekannten Vorgang herrührend an. Etwa gleichzeitig beobachtete auch Wilson dieselbe Erscheinung.

2. Debyes Theorie der Streuung an freien Elektronen.

Beide Effekte, das Weicherwerden der Röntgenstrahlen bei der Streuung und das Auftreten langsamer Primärelektronen, die in Luft von Atmosphärendruck nur kurze Wege zurückzulegen vermögen, brachte Debye in ursächlichen Zusammenhang miteinander und gründete hierauf eine neue, der Quantentheorie entsprechende Theorie des Streuvorganges.

Im Bereiche sichtbarer Strahlung ist der Strahlungsdruck eine bekannte Tatsache. Maxwell folgerte ihn aus seiner elektromagnetischen Theorie der Strahlung, und Nichols und Hull gelang es, ihn experimentell im Laboratorium nachzuweisen. Nach Maxwell übt das Licht auf kleine Partikel einen Druck aus, so daß sich diese bei intensiver Bestrahlung von der Lichtquelle fortzubewegen suchen. Bei den Kometenschweifen, die aus feinen Partikelchen bestehen, sehen wir die Wirkung des Strahlungsdrucks im großen vor Augen: nähert sich der Komet der Sonne, so wendet sich sein Schweif von dieser ab, ja, der Schweif erleidet hierbei vielfach Gestaltsveränderungen, die bis zur Aufspaltung führen können.

Nach Debyes Theorie übt nun auch die Röntgenstrahlung einen Strahlungsdruck auf Elektronen aus, die entweder frei oder nur so lose an das Atom gebunden sind, daß sie ihm zu folgen vermögen, und daher als frei angesehen werden können.

Um Debyes Theorie zu verstehen, müssen wir eine Betrachtung vorausnehmen, auf die wir eingehender im IV. Kapitel zurückkommen werden. Nach einer von Planck entwickelten Vorstellung besteht auch die Strahlung aus Energiequanten, ähnlich dem Aufbau der materiellen Körper aus Atomen. Röntgenstrahlen einer bestimmten Wellenlänge bestehen aus Energiequanten ganz bestimmter Größe; und zwar ist jedes Quant

der Wellenlänge der Röntgenstrahlung umgekehrt proportional. Trifft ein solches Strahlungsquant mit einem freien Elektron zusammen, so wird es an ihm gestreut. Dabei übt es aber einen Strahlungsdruck auf das Elektron aus, so daß dieses einen Rückstoß erfährt und eine gewisse, kleine Geschwindigkeit v und daher eine Wucht oder kinetische Energie E erhält. Der hierzu verbrauchte Bruchteil an Energie fehlt dem Strahlungsquant nach seiner Streuung: das gestreute Quant ist kleiner als das primäre, und daher ist die Härte der gestreuten Strahlung geringer, ihre Wellenlänge größer geworden. Nach Debyes Theorie ist diese Änderung für Röntgenstrahlen aller Wellenlängen die gleiche; sie ist nur abhängig vom Winkel, den die Richtung des gestreuten Quants mit dem Primärstrahl bildet. Ein in der Richtung des Primärstrahls gestreutes Quant erleidet keine Wellenlängenänderung. Ein rechtwinklig zum Primärstrahl gehender Strahl wird um 0,0243 Å, ein unter 180^0, also rückläufig zum Primärstrahl gestreuter Strahl wird um 0,0486 Å weicher. Für dazwischenliegende Winkel gelten entsprechende Werte.

Zu jedem Winkel, unter dem ein Strahlungsquant gestreut wird, gehört ein entsprechender, aber von ihm verschiedener Winkel, unter dem das freie Elektron den Rückstoß erfährt. Findet eine Streuung nahezu in Primärstrahlrichtung statt, so entweicht das Rückstoßelektron nahezu senkrecht zum Primärstrahl. Wird das Strahlungsquant entgegengesetzt dem Primärstrahl gestreut, so erhält das Elektron eine Bewegung in Primärstrahlrichtung. Während also das Quant in jeder beliebigen Richtung gestreut werden kann, ist die Richtung der Rückstoßelektronen auf einen Raumwinkel beschränkt, der zwischen der Richtung des Primärstrahls und der zu diesem Senkrechten liegt. Die kinetische Energie des Rückstoßelektrons und die Energie des gestreuten Quants zusammen sind immer gleich der des Quants vor der Streuung. Da das Quant bei Streuung in Primärstrahlrichtung keine Änderung, bei rückläufiger Streuung die größte Änderung an Wellenlänge und daher Energie erleidet, so muß das Rückstoßelektron dementsprechend senkrecht zur Primärstrahlrichtung eine verschwindend kleine und in Primärstrahlrichtung die größtmögliche Geschwindigkeit gewinnen. In jedem Falle ist die Geschwindigkeit des Rückstoßelektrons aber um so größer, je härter die Röntgenstrahlung ist.

3. Comptons Theorie der Streuung an freien Elektronen.

Nach der klassischen Theorie ist der Streuvorgang unabhängig von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen. Compton hat ebenfalls eine Quantentheorie der Streuung entwickelt. Nach dieser ist aber der Streukoeffizient σ_q der Quantentheorie wellenlängenabhängig: ist σ der Streukoeffizient der klassischen Theorie, so wird nach Compton

$$\sigma_q = \frac{\sigma}{1 + 2\alpha}, \tag{15}$$

worin

$$\alpha = \frac{h}{mc\,\lambda_0} = \frac{h\nu_0}{mc^2} \tag{16}$$

ist. Hierin bedeuten:

h das Plancksche Wirkungsquantum
m die Masse des Elektrons
c die Lichtgeschwindigkeit
} universelle Konstanten,

λ_0 die Wellenlänge der einfallenden Strahlung,
ν_0 die Frequenz der einfallenden Strahlung.

Näheres hierzu siehe IV. Kapitel. Die nach dieser Formel berechneten Werte für den Streukoeffizienten decken sich sehr gut mit Beobachtungen von Hewlett an kurzwelligen Röntgenstrahlen und mit der Absorption der γ-Strahlen in Kohle, die nach unserer jetzigen Anschauung ganz durch Streuung bedingt wird.

Die Energie des einfallenden Quants wird, wie wir sahen, durch die Streuung am freien Elektron vermindert. Die Energiedifferenz tritt als kinetische Energie des Rückstoßelektrons auf: sie geht der Röntgenstrahlung verloren, sie wird absorbiert. Es gibt also auch eine Absorption bei der Streuung. Compton trägt dieser Vorstellung Rechnung; er unterscheidet zwischen dem „echten Streukoeffizienten" σ_s der Quantentheorie, der sich auf das gestreute Quant bezieht:

$$\sigma_s = \sigma \cdot \frac{1+\alpha}{(1+2\alpha)^2} = \sigma_q \cdot \frac{1+\alpha}{1+2\alpha}, \tag{17}$$

und zwischen dem „echten Absorptionskoeffizienten der Streuung" σ_a, der sich auf die an das Rückstoßelektron abgegebene Energie bezieht:

$$\sigma_a = \sigma \frac{\alpha}{(1+2\alpha)^2} = \sigma_q \cdot \frac{\alpha}{1+2\alpha}. \tag{18}$$

Für die Summe beider ergibt sich unserer Vorstellung entsprechend:

$$\sigma_a + \sigma_s = \sigma_q. \tag{19}$$

4. Experimentelle Prüfung der Wellenlängenänderung bei der Streuung.

Diese läßt sich nach zwei Methoden vornehmen: durch Spektralmessungen und durch Absorptionsmessungen.

a) Spektralmessungen. Compton untersuchte die Wellenlängenänderung der K_α-Linie des Molybdän $\lambda = 0{,}708$ Å und des Wolfram $\lambda = 0{,}209$ Å, indem er die an Graphit gestreute Strahlung unter 45^0, 90^0 und 135^0 in den Spektralapparat fallen ließ. Er fand Übereinstimmung mit Debyes Formel innerhalb der Beobachtungsfehlergrenzen. Die Untersuchung zeigte aber noch ein anderes sehr wichtiges Ergebnis: außer der weicheren Strahlung tritt auch gestreute Strahlung auf, deren Wellenlänge unverändert ist, ja es zeigte sich sogar noch eine dritte, zwischen beiden liegende Spektrallinie! Dabei ist die der weicheren Strahlung entsprechende Spektrallinie, besonders bei 135^0, etwas verbreitert. Hieraus folgt:

I. Nicht alle Elektronen streuen als freie. Vielmehr findet auch Streuung an den Elektronen statt, die fest an das Atom gebunden sind, wie das Auftreten der Spektrallinie unveränderter Wellenlänge beweist;

II. Ein Teil der Elektronen streut als freie Elektronen, das beweist die Wellenlänge der am weitesten verschobenen Spektrallinie, deren Wellenlängenänderung mit Debyes Formel übereinstimmt;

III. Zwischen freien und gebundenen Streuelektronen muß es noch solche geben, deren Freiheit einen gewissen, mittleren Wert besitzt, wie die mittlere Spektrallinie zeigt;

IV. Auch bei den freien Elektronen scheint die weichere Strahlung inhomogen zu sein; darauf deutet die Verbreiterung der weichsten Spektrallinie hin. Hieraus würde folgen, daß auch die Geschwindigkeit der Rückstoßelektronen eine etwas verschiedene sein muß.

Die Ergebnisse von Compton wurden im wesentlichen von Roß bestätigt.

b) Absorptionsmessungen. Da die Absorption in einem bestimmten Absorbens, wie wir im II. Kapitel sahen, stark von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen abhängt.

Tabelle 12. Wellenlängenänderung bei der Streuung von Röntgenstrahlen.

Streustrahler	Primärstrahlung λ in A	Wellenlängenzunahme der gestreuten Strahlung in A							
		30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°
Freies Elektron entsprechend der Theorie	bei allen λ	0,003	0,007	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,041
Paraffin	0,12	0,005	0,010	0,013	0,020	0,024	0,031	—	—
Graphit	0,12	0,010	0,013	0,015	0,021	0,027	0,033	—	—
Aluminium	0,12	0,006	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	—	—
Kupfer	0,13	0,004	0,007	0,010	0,014	0,017	0,022	—	—
Blei	0,14	0,016	0,021	0,024	0,025	0,025	0,026	—	—
Paraffin	0,15	0,004	0,008	0,012	0,018	0,023	0,027	0,033	0,039
Graphit	0,15	—	0,007	0,012	0,017	0,025	0,031	0,034	0,038
Aluminium	0,15	—	0,007	0,010	0,016	0,021	0,025	0,028	0,035
Kupfer	0,15	—	0,005	0,011	0,015	0,017	0,023	0,027	—
Zinn	0,17	—	0,004	0,007	0,010	0,013	0,020	—	—
Blei	0,17	—	0,005	0,008	0,008	0,011	0,012	—	—
Paraffin	0,21	0,004	0,008	0,014	0,018	0,023	0,027	—	—
„	0,25	0,005	0,008	0,012	0,017	0,020	0,024	—	—
„	0,32	0,003	0,006	0,010	0,015	0,020	0,023	—	—

so kann man bei Verwendung desselben Filters aus der Absorptionsmessung auf die Härte der Röntgenstrahlen schließen. Compton untersuchte die Härte der ungestreuten und der an verschiedenem Material und unter verschiedenen Winkeln gestreuten Strahlung nach der Absorptionsmethode mit der Ionisationskammer.

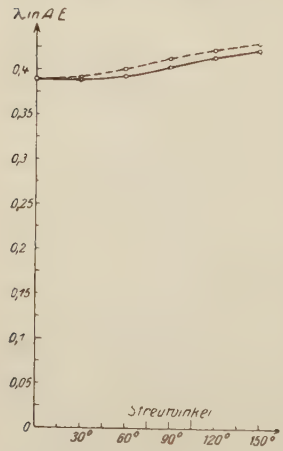


Abb. 9. Die Härteänderung der Röntgenstrahlen beim Streuvorgang für verschiedene Streuwinkel nach Dessauer und Herz.

Seine Ergebnisse sind in Tabelle 12 wiedergegeben. In der ersten Horizontalspalte sind diejenigen Änderungen der Wellenlänge vermerkt, die für Röntgenstrahlen aller Härtegrade von der Theorie gefordert werden. Darunter stehen diejenigen Wellenlängenänderungen, die Compton für verschiedene Wellenlängen der Primärstrahlung, für verschiedene streuende Medien und für verschiedene Streuwinkel aus seinen Absorptionsmessungen ermittelte. Für leichtatomige Streustrahler muß die Übereinstimmung mit der Theorie im allgemeinen sehr gut genannt werden. Da man indessen annehmen muß, daß die Bindung der Planetenelektronen an ihr Atom um so fester ist, je höher dessen Stellenzahl im periodischen System steht, so kann es nicht wundernehmen, daß bei schweratomigen Streustrahlern die beobachtete Wellenlängenänderung hinter der von der Theorie geforderten zurückbleibt. Die gute Übereinstimmung mit der Theorie bei leichtatomigen Streustrahlern ist deshalb sogar erstaunlich, weil, wie wir oben sahen, ein Teil der Strahlung auch an Kohlenstoff (Graphit) gestreut wird, ohne weicher zu werden, und weil man deshalb erwarten sollte, daß die beobachtete Wellenlängenänderung zwischen der von der Theorie geforderten und der Änderung Null liegt.

Die Ergebnisse von Beobachtungen, die Dessauer und Herz ebenfalls nach der Absorptionsmethode, aber auf photographischem Wege, anstellten, sind in Abb. 9

wiedergegeben. Als Streustrahler diente eine Paraffinkugel. Die Wellenlängen der beobachteten Streustrahlung, die sich aus den Absorptionsmessungen ergeben, sind für verschiedene Streuwinkel als ausgezogene Kurve dargestellt. Die Wellenlängenänderung ist hier etwas geringer, als es die Theorie fordert, welcher die gestrichelte Kurve entspricht. Dessauer und Herz schreiben diesen Unterschied mit Recht dem Umstande zu, daß im gestreuten Strahle außer der längeren Wellenlänge auch die unveränderte auftritt.

5. Experimentelle Prüfung der Austrittsrichtung, Geschwindigkeit und Häufigkeit der Rückstoßelektronen.

Am augenfälligsten treten die Rückstoßelektronen auf den Aufnahmen von Wilson in Erscheinung.

Je größere Geschwindigkeit ein Elektron besitzt, desto größer ist seine kinetische Energie. Eine um so längere Bahn wird ein solches Elektron also in der Luft zurücklegen, ehe sein Vorrat an Energie durch Lostrennen sekundärer Träger erschöpft ist. Abb. 10 zeigt eine große Anzahl solcher langer Bahnen. Soweit ihr Ende mit auf die Platte gekommen ist, besteht es aus einer Kugel: das Elektron wird dann, wenn seine Geschwindigkeit nahezu erschöpft ist, im all-

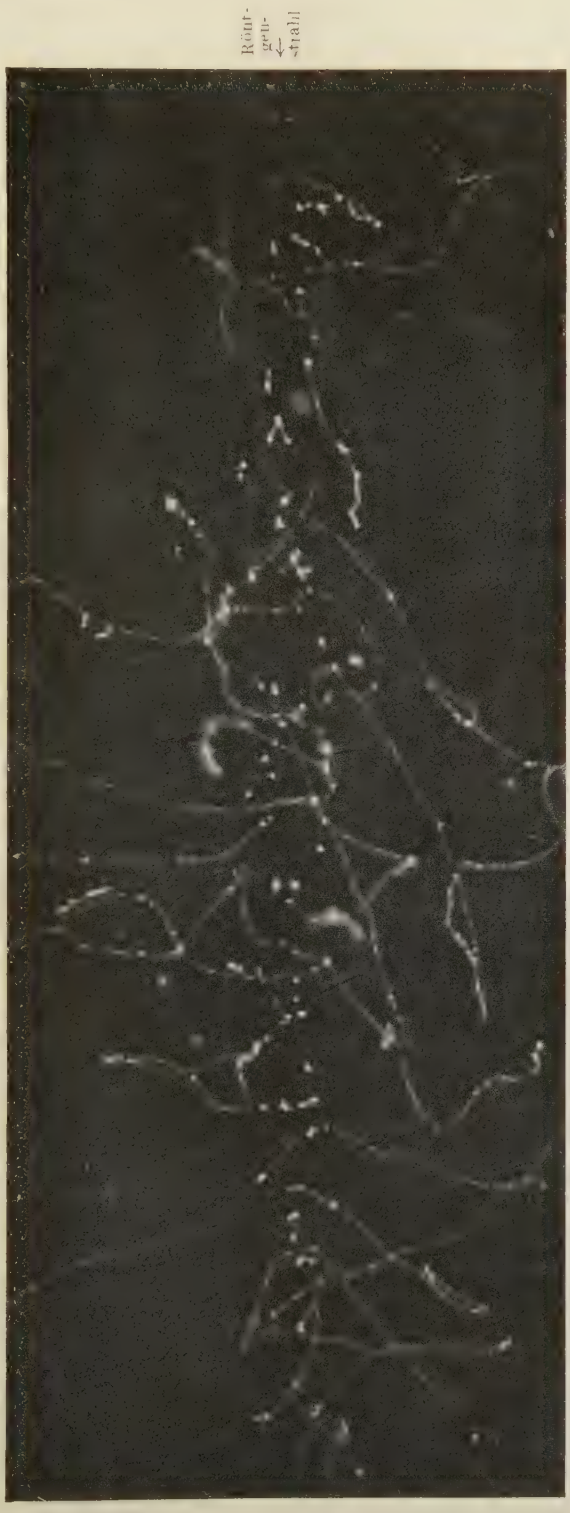


Abb. 10. Nebelaufnahme von Elektronenbahnen von C. T. R. Wilson. Verschiedene Arten primärer Röntgenelektronen. „Lange"-, „Fisch"- und „Kommabahnen", von harten Röntgenstrahlen ausgelöst. Anfängliche Vorwärtskomponente der langen Bahnen. Röntgenstrahlbündel, etwa 3 mm Durchmesser, mit 0,06 mm Blei gefiltert. Enddruck 50 cm.

gemeinen von einem Molekül abgefangen, in dem es stecken bleibt, und das dadurch zu einem negativen Molekülion wird. Wir können hieraus den Schluß ziehen, daß sich ein Elektron sehr kleiner Geschwindigkeit auf Wilsons Aufnahmen als Kugel zu erkennen gibt. Nach Wilsons Untersuchungen entsprechen solche Kugeln kurzen Elektronenbahnen von weniger als 0,1 mm Länge. Ist die Geschwindigkeit der Elektronen etwas größer, so tritt ein Schwanz aus den Kugeln aus, der nach dem Ursprung der Bahn hinweist: Wilson nennt solche Bahnen „Kommabahnen". Sie entsprechen dem Ende und dem allerletzten Teil einer langen Bahn. Ist die Geschwindigkeit der Elektronen noch etwas größer, so ist der Schwanz länger, Wilson nennt das „Fischbahnen". Abb. 10 zeigt lange Bahnen, Fisch- und Kommabahnen in großer Zahl. Die Komma- und Fischbahnen liegen fast ausnahmslos innerhalb des primären Strahlenbündels und werden daher wohl mit Recht als Bahnen von Rückstoßelektronen angesprochen. Die Lage des kugelförmigen Endes beweist, daß die Bewegung der Rückstoßelektronen vorzugsweise in die Richtung der primären Röntgenstrahlen fällt, was insofern gut mit Debyes Theorie übereinstimmt, als nach dieser die Bahnen der Rückstoßelektronen auf einen Raumwinkel zwischen der Richtung der Primärstrahlen und der hierzu senkrechten Richtung verteilt sein müssen.

Während die Richtung der Komma- und Fischbahnen dieselben als Bahnen von Rückstoßelektronen zu erkennen gibt, bestimmt ihre Bahnlänge und Häufigkeit die mit dem Streuvorgange verbundene Ionisation. Denn die Bildung sekundärer Träger ist der Häufigkeit der Rückstoßelektronen proportional und wächst mit deren Bahnlänge. Aus Wilsons Aufnahmen geht hervor, daß Komma- und Fischbahnen erst dann auftreten, wenn die Röntgenstrahlen kurzwelliger sind als 0,4—0,6 Å. Mit zunehmender Härte der Röntgenstrahlen wächst ihre Bahnlänge schnell an, ist aber selten größer als 1,5 mm. Auch die Zahl der Kugelbahnen nimmt schnell mit der Härte der Röntgenstrahlen zu, und wenn diese angenähert 0,5 Å beträgt, so überwiegen Kugel- und Fischbahnen zusammen an Zahl die langen Bahnen.

Bothe untersuchte die von den Rückstoßelektronen herrührende Ionisation und deren Bahnlänge in Luft. Freilich konnte er nicht die letztere selbst, sondern nur ihre Transversalkomponente r bestimmen. Für verschiedene am Röntgenrohre liegende Scheitelspannungen erhielt er die Werte der Tabelle 13. Bei 70 KV wurden die Rückstoßelektronen merklich. Tabelle 14 zeigt r der Rückstoßelektronen, die von verschiedenen Streustrahlern stammen, in verschiedenen Gasen. Mit zunehmendem Atomgewicht des Streustrahlers nimmt die Bahnlänge ab.

Tabelle 13. Transversalkomponente r der Bahnen von Rückstoßelektronen bei 760 mm Quecksilberdruck in Luft nach Bothe.

kV	r in mm
86,5	0,33
84,5	0,27
81,0	0,17
72,0	0,07

Tabelle 14. Transversalkomponente r der Bahnen von Rückstoßelektronen bei 86,5 kV ungefilterter Strahlung an verschiedenen Streustrahlern nach Bothe.

Streustrahler	in Luft	in H_2	in H_e
H_2	—	2,3	—
H_e	—	—	1,3
C	0,3	2,2	—
Luft	0,3	—	—
Aluminium	$< 0{,}25$	1,7	—

6. Ionisation durch Streustrahlung im Vergleich zu Ionisation bei „wahrer Absorption".

Unter Ionisation bei „wahrer Absorption" wollen wir diejenige Ionisation verstehen, die nichts mit der Streustrahlung zu tun hat und die wir im V. Kapitel eingehender behandeln werden.

Nach Wilsons Untersuchungen dürfen die Röntgenstrahlen nicht langwelliger sein als 0,4—0,6 Å, wenn die Bahnen der Rückstoßelektronen auf den Aufnahmen in Erscheinung treten sollen, und nach Bothe wird die Ionisation durch Rückstoßelektronen erst bei etwa 70 kV Röhrenspannung merklich, was noch etwas härterer Röntgenstrahlung entspricht. Zweifellos sind schon bei weicheren Röntgenstrahlen Rückstoßelektronen vorhanden. Denn Compton fand, daß schon die K_α-Strahlen des Molybdän, die eine Wellenlänge von 0,708 Å besitzt, bei der Streuung weicher wird. Aber nach Bothes Messungen macht bei 86,5 kV Scheitelspannung und ungefilterter Strahlung die Ionisation durch Rückstoßelektronen nur 1 % der Gesamtionisation aus. Bei weicheren Röntgenstrahlen werden Rückstoßelektronen so selten sein, daß sie kaum in Erscheinung treten. Nach Debyes Theorie soll mit der Härte der Röntgenstrahlen die Bahnlänge der Rückstoßelektronen und daher auch deren Ionisation zunehmen. Nach Untersuchungen von Fricke und Glasser an zwei gut homogenen Strahlungen der mittleren Wellenlänge 0,180 und 0,115 Å ergab sich ziemlich gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Theorie für das Verhältnis der Ionisation durch die bei „wahrer Absorption" gebildeten langbahnigen Primärelektronen zur Ionisation durch die Rückstoßelektronen an Kohlenstoff, wie Tabelle 15 zeigt. Die relative Ionisation durch die Rückstoßelektronen nähme demnach mit Kürzerwerden der Wellenlänge rapid zu. Die γ-Strahlen sind nichts anderes als kurzwellige Röntgenstrahlen. Bei γ-Strahlen von etwa 0,02 Å Wellenlänge sind nach Angabe von Lise Meitner an Kohlenstoff von 100 Elektronen 92 Elektronen Rückstoßelektronen, nur 8 entstehen bei der „wahren Absorption": je kurzwelliger die Strahlung, desto wahrscheinlicher soll das Auftreten von Rückstoßelektronen und desto unwahrscheinlicher das der anderen Elektronen werden. Und auch nach Bothe ist bei sehr harten γ-Strahlen die Energie der in der Primärrichtung emittierten Elektronen beider Gattungen nahezu gleich. Auch hieraus würde die starke Überlegenheit der Ionisation durch die Rückstoßelektronen für kurzwellige Strahlung folgen.

Tabelle 15. Verhältnis der Ionisation durch langbahnige Elektronen zu der durch Rückstoßelektronen von Kohle, beobachtet und berechnet von Fricke und Glasser.

λ in Å	Ionisationsverhältnis	
	aus Beobachtung	aus Theorie
0,180	0,28	0,38
0,115	0,094	0,085

Ist heute quantitativ auch noch nicht hinreichend geklärt, welcher Anteil der Gesamtionisation der Ionisation durch Rückstoßelektronen zukommt, so kann doch als sehr wahrscheinlich gelten, daß sie bei ungefilterter Strahlung von 86,5 kV nur 1 % der Gesamtionisation verursachen. Sicher ist, daß ihr Anteil an dieser mit zunehmender Härte der Röntgenstrahlen steigt. Dieses Ergebnis ist wichtig für die Frage der Energiemessung der Röntgenstrahlen durch Ionisation, die wir im VII. Kapitel behandeln werden.

Viertes Kapitel.

Atomphysik.

1. Der atomistische Aufbau der Materie.

Die Auffassung vom atomistischen Aufbau der Materie reicht bis ins klassische Altertum zurück. Schon Leukippos wagte im 5. Jahrhundert v. Chr. den Schritt ins Jenseits der Wahrnehmbarkeit: er lehrte den Aufbau der Materie aus Atomen, und sein Schüler Demokrit sah alle Atome als gleichartig und nur in ihrer Form als verschieden an. Die wissenschaftliche Chemie des Mittelalters, die Alchemie, wurde beherrscht von dem Problem, unedles Metall in Gold zu verwandeln; der Mißerfolg dieser unzähligen Versuche führte zur Erkenntnis des Gesetzes von der Konstanz der chemi-

Tabelle 16. Periodisches System der Elemente.

1 H 1,008							2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,1	5 B 11,0	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,0	10 Ne 20,2
11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 A 39,88
19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,1	22 Ti 48,1	23 V 51,0	24 Cr 52,0	25 Mn 54,93	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,84 58,97 58,68
29 Cu 63,57	30 Zn 65,37	31 Ga 69,9	32 Ge 72,5	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92	36 Kr 82,92
37 Rb 85,45	38 Sr 87,63	39 Y 88,7	40 Zr 90,6	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	(43)	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7
47 Ag 107,88	48 Cd 112,40	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 120,2	52 Te 127,5	53 J 126,92	54 X 130,2
55 Cs 132,81	56 Ba 137,37	Seltene Erden	72 Hf 178	73 Ta 181,5	74 W 184,0	(75)	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2
79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,0	82 Pb 207,20	83 Bi 209,02	84 Po (210,0)	(85)	86 Em (222,0)
(87)	88 Ra 226,0	89 Ac (226)	90 Th 232,15	91 Pa (230)	92 U 238,2		

Seltene Erden:

57 La 139,0	58 Ce 140,25	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	(61)	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3
65 Tu 159,2	66 Ds 162,5	67 Ho 163,5	68 Er 167,7	69 Tu I 168,5	70 Ad 173,5	71 Cp 175,0	

schen Elemente. Schon Dalton sprach 1803 aus: „Die Atome ein und desselben Elements sind untereinander gleichartig und gleich im Gewicht", und 1869 stellten Lothar Meyer und Mendelejeff unabhängig und gleichzeitig das periodische System der Elemente auf. Sie ordneten diese in der Reihenfolge steigenden Atomgewichts an und erreichten durch Abbrechen der Horizontalzeilen oder Perioden, daß immer Elemente gleicher chemischer Eigenschaften in Vertikalspalten untereinander zu stehen kommen (Tabelle16). Hierbei zeigte sich aber auch gleichzeitig ein periodischer Gang physikalischer Eigen-

schaften mit den Perioden, so z. B. der des Atomvolumens (Abb. 11). So erkannte schon Mendelejeff, daß der physikalische und chemische Charakter eines Elements durch seine Stellung im periodischen System bestimmt wird.

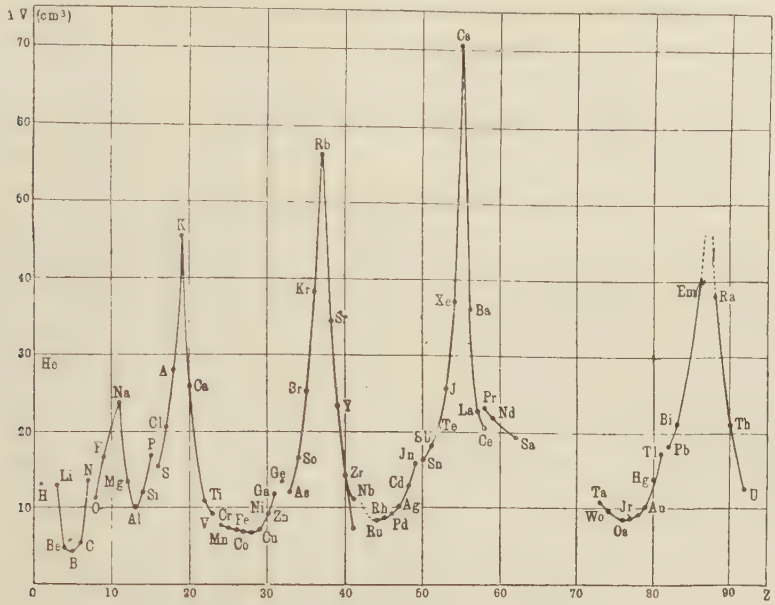


Abb. 11. Atomvolumina nach Stefan Meyer (aus Sommerfeld, „Atombau und Spektrallinien").

2. Der atomistische Aufbau der Elektrizität

wurde 1881 von Helmholtz aus Faradays Gesetzen der Elektrolyse gefolgert. Sichergestellt ist er durch die Entdeckung des Elektrons. Seine Ladung ist gleich der des einwertigen Ions bei der Elektrolyse, und seine Masse ist gleich $^1/_{1800}$ des Wasserstoffatoms. Das Elektron ist der Baustein der negativen Elektrizität. Die Kathodenstrahlen unserer Glühkathodenröntgenröhren bestehen nur aus Elektronen.

3. Die elektromagnetische Strahlung.

Schon Maxwell hatte das Licht als elektromagnetisches Wechselfeld vermutet: Heinrich Hertz wies die Wesensgleichheit von Licht und elektrischen Wellen experimentell nach. Durch v. Laues Entdeckung der Röntgenspektroskopie 1912 wurde die lange vermutete Wesensgleichheit von Licht und Röntgenstrahlen, sowie von γ-Strahlen der radioaktiven Elemente zur Gewißheit. So gibt es nach unserer heutigen Auffassung nur noch eine einzige Art elektromagnetischer Strahlung, die sich nur durch eine kontinuierliche Reihenfolge verschiedener Wellenlängen unterscheidet und praktisch-willkürlich in Gebiete zerlegt wird. Die Schwingungsrichtung steht senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung: alle elektromagnetische Strahlung ist transversale Wellenstrahlung und daher polarisierbar. Sie breitet sich im luftleeren Raume, ebenso wie die Elektrizität, mit Lichtgeschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde aus. Dividiert man die Lichtgeschwindigkeit c durch die Wellenlänge λ, so erhält man die Frequenz ν der Strahlung:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}. \tag{20}$$

4. Die Energie; das Wirkungsquantum.

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Aus der Unmöglichkeit, ein Perpetuum mobile zu schaffen, folgerte Robert Mayer das Prinzip von der Erhaltung der Energie: Energie kann nie gewonnen werden oder verlorengehen; sie kann nur ihre Erscheinungsform wechseln.

Am augenfälligsten tritt uns die Energie bei der Bewegung von Massen in Form „kinetischer Energie" oder „Wucht" entgegen. Sie ist gleich der halben Masse m mal dem Quadrat ihrer Geschwindigkeit v:

$$E = \frac{m}{2} \cdot v^2. \tag{21}$$

Ein schwingendes Gebilde, z. B. ein Pendel, hat diese Energie bei seinem Durchgang durch die Nullage. Im Umkehrpunkte ist seine Geschwindigkeit, also auch seine kinetische Energie, gleich Null. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie besitzt es dort „potentielle Energie".

Die mechanischen Umsetzungen vollziehen sich so langsam, daß der Energieaustausch bei ihnen scheinbar stetig erfolgt. Anders verhält es sich bei den schnellen Schwingungen wie bei den Lichtschwingungen: Planck zeigte 1900, daß man hier mit quantenhaftem Energieaustausch rechnen muß. Der Energieaustausch erfolgt hier gleichsam portionsweise, und jedes solches Energiequantum η ist proportional der Frequenz ν der Strahlung; beide sind verknüpft durch die Beziehung

$$\eta = h\nu, \tag{22}$$

worin h eine universelle Konstante, das sog. Plancksche „Wirkungsquantum" bedeutet. Es berechnet sich zu $6{,}54 \cdot 10^{-27}$ ergsek.

5. Der lichtelektrische Effekt.

Hallwachs zeigte, daß sich eine Metallplatte bei Bestrahlung mit kurzwelligem Licht positiv auflädt, und Lenard wies 1899 nach, daß es Elektronen sind, die unter der Lichteinwirkung von der Platte entweichen, so daß die vorher ungeladene Platte mit positiver Ladung zurückbleibt. Eine wichtige Beziehung zwischen strahlender Energie und Elektrizität war damit sichergestellt. Einstein hatte den außerordentlich fruchtbaren Gedanken, der Energieaustausch zwischen absorbierter strahlender Energie und entweichendem Elektron vollziehe sich quantenhaft in der Weise, daß stets dann, wenn ein Energiequantum absorbiert wird, auch ein Elektron entweicht. Um das Elektron loszutrennen, bedarf es einer gewissen Abtrennungsenergie oder Abtrennungsarbeit A. Wird nun ein Energiequantum strahlender Energie absorbiert, so wird ein Teil desselben zur Abtrennungsarbeit verwandt, während der Rest als kinetische Energie des Elektrons auftritt, so daß

$$h\nu = \frac{m}{2} v^2 + A \tag{23}$$

wird. Das losgerissene Elektron tritt also mit einer ganz gewissen Geschwindigkeit v aus, die nur durch die Energie der absorbierten Strahlung und durch die Abtrennungsarbeit bestimmt wird.

6. Der Weg zum Rutherfordschen Atommodell.

Durch Lenards Deutung von Hallwachs' Entdeckung war sichergestellt, daß Atome unter der Einwirkung von Licht in der Lage sind, Elektronen abzugeben. Da sie

uns aber für gewöhnlich im neutralen, d. h. unelektrischen Zustande entgegentreten, so müssen sie aus positiven und negativen Ladungen aufgebaut sein. Schon 1897 hatte J. J. Thomson die Ansicht ausgesprochen, daß der Atomraum gleichmäßig von positiver Elektrizität erfüllt sei, in dem eine dem Atomgewicht proportionale Zahl von Elektronen kreise. Lenard gelangte 1903 auf Grund seiner Versuche über den Durchgang von Kathodenstrahlen durch Materie zu der Auffassung, daß auch die positive Elektrizität der Atome auf sehr kleine Räume konzentriert sei, so daß das Atomvolumen in der Hauptsache nur von den Kraftfeldern der beiden Elektrizitäten ausgefüllt ist. Nach Lenards Vorstellung waren je ein Träger positiver und negativer Ladung zu einem Paar vereinigt. Bei dem geringen Gewicht der Elektronen – $^1/_{1800}$ des Wasserstoffatoms – mußte notgedrungen der positiven Ladung das Atomgewicht zugeschrieben werden. Um den Abstand zwischen positiver und negativer Ladung entgegen ihrer gegenseitigen Anziehungskraft aufrechtzuerhalten, war Lenard zu der weiteren Annahme genötigt, daß jedes Elektron seine positive Ladung umkreise, wie ein Planet die Sonne, so daß sich seine Zentrifugalkraft und jene Anziehungskraft das Gleichgewicht halten. Lenard nannte diese rotierenden Ladungspaare Dynamiden; aus ihnen sollten sich die Atome der chemischen Elemente aufbauen und die Zahl der Dynamiden sollte dem Atomgewicht proportional sein. Im Jahre 1911 folgerte Rutherford aus seinen Versuchen über den Durchgang von α-Teilchen radioaktiver Substanzen durch Materie, daß die gesamte positive Ladung auf einen außerordentlich kleinen Raum im Atommittelpunkte konzentriert sein müsse und von allen Planetenelektronen gemeinsam umkreist werde. Moseley untersuchte 1913 die Serienspektra der Elemente im Röntgengebiete (Abb. 12). Er fand, daß zwischen der Wurzel aus der Frequenz einer Spektrallinie und der Stellenzahl des diese emittierenden Elements im periodischen System eine fast lineare und, was die Hauptsache ist, völlig glatte Beziehung besteht, wenn man an einigen Stellen des Systems benachbarte Elemente miteinander vertauscht, Elemente, deren Reihenfolge auch dem Chemiker schon längst zweifelhaft erschienen war. Es waren dies die Elemente Argon und Kalium, Kobalt und Nickel, Tellur und Jod. Hierdurch war bewiesen, daß die Stellung der Elemente im periodischen System durch ihre physikalischen Eigenschaften eindeutig bestimmt ist, und daß ihre Stellenzahl das Ausschlaggebende ist, nicht aber das Atomgewicht, nach dem Meyer und Mendelejeff die Elemente ursprünglich geordnet hatten. J. J. Thomson hat 1903 aus Barklas Versuchen über die Streuung der Röntgenstrahlen gefolgert, daß für leichte Atome die Zahl der Elektronen im Atom gleich dem halben Atomgewichte sei (s. III. Kapitel). Im Anschluß an Moseleys Spektralmessungen legte es van den Broek nahe, daß die Stellenzahl eines Elements seiner Kernladung oder der ihr gleichen Zahl von Planetenelektronen gleich zu setzen sei. Hiermit hatte das Rutherfordsche Atommodell seine Vollendung gefunden: der po-

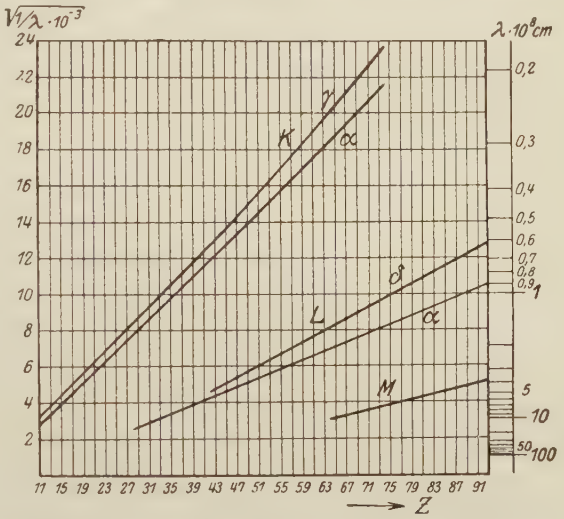


Abb. 12. Stellenzahl und Röntgenspektra der Elemente nach Moseley. (Aus Ewald, Kristalle und Röntgenstrahlen.)

sitiv geladene Atomkern, dem das Atomgewicht zukommt, wird von den negativ geladenen Planetenelektronen umkreist; die Summe ihrer Ladungen ist entgegengesetzt gleich der Kernladung, und ihre Zahl ist gleich der Stellenzahl im periodischen System.

7. Das Bohrsche Atommodell.

Dank der Kreisbewegung seiner Elektronen ist das Atom ein schwingendes, elektrisches Gebilde, und nach unserer klassischen Auffassung sollte es Strahlung aussenden. Dieser Energieverlust durch Strahlung würde aber mit einer Verminderung an Zentrifugalkraft der Elektronen verbunden sein und zur Folge haben, daß diese in den Kern fallen: das Atommodell wäre instabil. Hier half Bohr durch eine weitere Annahme, die sich allerdings in Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik setzt: Bohr forderte, daß die Elektronen nicht strahlen, solange sie sich auf ihrer Bahn bewegen! Strahlung wird nach Bohr nur dann emittiert, wenn ein Elektron von einer äußeren Planetenbahn auf eine innere springt.

Die Elektronenbahnen liegen auf Schalen, deren Mittelpunkt in den Kern fällt. Die Höchstzahl an Elektronen, die jede Schale aufzunehmen vermag, wird durch die Periodenzahl des periodischen Systems bestimmt. So besitzen Wasserstoff 1, Helium 2 Elektronen. Mehr vermag die innerste Schale, die K-Schale, nicht aufzunehmen. Die in der zweiten Periode stehenden Elemente Lithium bis Neon haben außer den 2 Elektronen der K-Schale 1—8 Elektronen in der zweiten, der L-Schale; damit ist auch diese aufgefüllt. Es folgen dann die Elemente Natrium bis Argon, die außer den Elektronen in der K- und L-Schale 1—8 Elektronen in der M-Schale führen usf.

Das quantenhafte des Bohrschen Atommodells kommt im Durchmesser der Elektronenschalen zum Ausdruck; diese können nur in ganzzahligen Beziehungen zueinander stehen. Ist a_1 der Durchmesser der ersten oder innersten Bahn, a_2, a_3 der der zweiten und dritten, a_n der der n^{ten}, so ist

$$a_2 = 2^2 \cdot a_1 = 4\,a_1; \quad a_3 = 3^2 \cdot a_1 = 9\,a_1$$

und ganz allgemein

$$a_n = n^2 \cdot a_1 \cdot \tag{24}$$

n heißt die Quantenzahl; die Elektronenbahnen heißen Quantenbahnen.

Die Elektronen sind in den beschriebenen Quantenbahnen stabil, d. h. sie können sich in ihnen dauernd bewegen. (Außer diesen Quantenbahnen müssen wir aber auch noch solche annehmen, deren Durchmesser zwar dem eben angeführten Quantengesetz genügen, in denen die Elektronen aber instabil sind. In eine solche Quantenbahn kann ein Elektron wohl einmal hineingeraten, aber nur, um sie alsbald wieder zu verlassen.)

8. Absorption und Emission beim Bohrschen Atommodell.

Energie kann dem Atom in verschiedener Form zugeführt werden: in Form strahlender Energie, in Form von Wärmeenergie, in Form kinetischer Energie stoßender Elektronen usf. Auch die Form, in der die Energie auf das Atom übertragen wird, kann verschieden sein. So kann das Atom Energie absorbieren, ohne in seinem Bau eine Änderung zu erfahren: die Energiezufuhr kann sich in kinetischer Energie des Atoms äußern. Diese überträgt das Atom auf seine Nachbaratome und trägt so zur Erwärmung des ganzen Körpers bei. Es kann das Atom durch die Energieaufnahme indessen auch in den sog. „angeregten" Zustand übergeführt werden, welcher mit einer zeitweiligen Konfigurationsänderung seines Baus verbunden ist. Im allgemeinen gibt das Atom alsdann nach Versuchen von W. Wien die aufgenommene Energie inner-

halb von etwa ein Hundertmillionstel Sekunde wieder ab. Dies kann wiederum in verschiedenen Energieformen geschehen, so z. B. in Form von strahlender Energie, in Form von kinetischer Energie von Elektronen usf.

Für unser Problem, die Ionisation der Röntgenstrahlen, kommt als Form von Energie, die aufgenommen wird, nur Röntgenstrahlung und kinetische Energie stoßender Elektronen in Frage; und als Formen, in denen absorbierte Energie wieder abgegeben wird, auch nur Röntgenstrahlung und kinetische Energie von Elektronen. Die Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten ist also wesentlich eingeschränkt. Wir wollen uns im nächsten Kapitel mit dem Absorptions- und Emissionsvorgang auf der Grundlage der Bohrschen Atomtheorie näher befassen.

Fünftes Kapitel.

Absorptions- und Emissionsvorgang im Lichte der Bohrschen Atomtheorie.

Wir wollen im folgenden den Absorptions- und Emissionsvorgang, einerseits bei der Absorption von Röntgenstrahlen, anderseits bei der Absorption kinetischer Energie stoßender Elektronen, näher betrachten. In beiden Fällen tritt die absorbierte Energie wieder in Form von Röntgenstrahlung und in Form schnell bewegter Elektronen zutage.

1. Absorption von Röntgenstrahlen und Emission von Elektronen und Röntgenstrahlen.

Wie wir sahen, sind Röntgenstrahlen kurzwellige Lichtstrahlen. Auch Röntgenstrahlen bestehen aus Strahlungsquanten. Durch die Wellenlänge der Röntgenstrahlen wird die Größe jedes Quants η durch Kombination der Gleichungen (20) und (22) bestimmt; es ist

$$\eta = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \nu . \tag{25}$$

Aus solchen Quanten setzt sich die Röntgenstrahlung zusammen, und die Intensität J der Röntgenstrahlen ist um so größer, je größer die Zahl N dieser Quanten ist, die in der Zeiteinheit durch die zur Strahlrichtung senkrechte Flächeneinheit fliegen. Es ist also

$$J = N \cdot h \cdot \nu = N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} . \tag{26}$$

Haben wir zwei Strahlen gleicher Intensität, aber verschiedener Wellenlänge, so werden bei der weichen Strahlung, deren Wellenlänge groß und deren Quanten $h \cdot \frac{c}{\lambda}$ daher klein sind, in der Zeiteinheit viele solcher Quanten durch die Flächeneinheit gehen, für sie ist also N groß. Bei einer harten Strahlung gleicher Intensität ist demgegenüber die Wellenlänge klein, also $h \cdot \frac{c}{\lambda}$ groß: bei ihr gehen in der Zeiteinheit wenig Quanten durch die Flächeneinheit, und N ist klein.

Wird Röntgenstrahlung absorbiert, so geschieht das quantenhaft, d. h. die Strahlung wird nicht auf einmal absorbiert, sondern jedes Quant wird einzeln absorbiert, ganz nach Zufälligkeiten. Erstrecken wir aber unsere Betrachtung über einen hinlänglich großen Zeitraum, so ergibt sich immer wieder derselbe Mittelwert für denjenigen Bruchteil

der in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit gehenden Quanten N, welcher in der Zeiteinheit absorbiert wird: wie groß dieser Bruchteil ist, besagt für Röntgenstrahlen bestimmter Wellenlänge und für ein bestimmtes Absorbens das Absorptionsgesetz, das bei experimenteller Bestimmung nur deshalb immer wieder denselben Zahlenwert liefert, weil sich eben immer derselbe statistische Mittelwert ergibt.

Wir betrachten zunächst nur die Vorgänge bei der Absorption eines einzelnen Strahlungsquants $h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$. Ein solches kann nur von einem Atom absorbiert werden, gleichviel, ob dieses sich allein befindet, wie z. B. ein Heliumatom im Heliumgas, oder ob es einen Teil eines Moleküls bildet, wie z. B. ein Sauerstoffatom in einem Luftmolekül. Ist ein Strahlungsquant absorbiert worden, so tritt seine Energie in zwei neuen Formen zutage: in der Elektronenemission und in der Strahlungsemission.

a) Elektronenemission.

Röntgenstrahlen sind kurzwellige Lichtstrahlen: bei ihnen geschieht genau dasselbe, was sich beim „lichtelektrischen Effekt" im Bereiche sichtbarer und ultravioletter Strahlung vollzieht. Ein Teil des absorbierten Energiequants wird dazu verbraucht, um ein Elektron aus dem Atomverbande loszureißen: es wird eine Ionisationsarbeit A geleistet. Der Rest der absorbierten Energie tritt in Form kinetischer Energie eines Planetenelektrons auf, welches das Atom mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit v verläßt, und diese berechnet sich wieder nach der Einsteinschen Gleichung:

$$h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{m}{2} \cdot v^2 + A \,. \tag{23}$$

Wir hatten gesehen, daß sich beim Bohrschen Atom die Planetenelektronen auf Bahnen bewegen, die auf Schalen liegen. Die Durchmesser dieser Bahnen sind nach Gleichung (24) bestimmt, und diese sowohl als die Zahl der Planetenelektronen, die sich auf ihnen bewegen, sind charakteristisch für jedes chemische Element. Von kleineren zu größeren Bahndurchmessern übergehend, hatten wir diese Schalen als K-, L-, M- und N-Schale usf. bezeichnet.

Wird ein Strahlungsquant absorbiert, so muß ein Planetenelektron unter Aufwendung der Energie A an die Atomperipherie gehoben werden, die wir uns soweit vom Kern zu denken haben, daß dieser daselbst trotz seiner entgegengesetzten Ladung keine Anziehung mehr auf das alsdann als frei zu betrachtende Elektron auszuüben vermag. Es kann sein, daß das Elektron aus der innersten, der K-Schale bis zur Atomperipherie gehoben wurde; ebensogut ist es aber auch möglich, daß es der L-Schale, der M-Schale oder einer anderen Schale entstammt. Je tiefer das Elektron im Mutteratom liegt, um so größer muß die Energie A sein, die erforderlich ist, um es zur Atomperipherie zu heben; am leichtesten wird es sein, ein Planetenelektron aus der äußersten Schale loszureißen, am schwersten aus der innersten, der K-Schale. Wir wollen nun der Reihe nach Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge auf ein Atom fallen lassen. Das kleine Energiequantum einer weichen Strahlung wird nur vermögen, ein Planetenelektron der äußersten Schale zur Peripherie zu heben. Gehen wir aber zu härteren Strahlen über, so wird es eine bestimmte Wellenlänge λ geben, bei der das Energiequantum $h \cdot \frac{c}{\lambda}$ gerade ausreicht, um ein Elektron aus der zweitäußersten, sagen wir beispielsweise der M-Schale, zur Peripherie zu heben. Wir wollen diese Wellenlänge die sog. „Absorptionsbandkante" der M-Schale, λ_M nennen. Bei weiterer Härtesteigerung wird ein λ_L erreicht werden.

bei dem das Strahlungsquant $h \cdot \frac{c}{\lambda_L}$ gerade ein Planetenelektron aus der L-Schale zur Atomperipherie zu heben vermag, und schließlich findet sich eine sehr kurze Wellenlänge λ_K, die gerade ausreicht, um ein Elektron aus der K-Schale zur Atomperipherie zu bringen. Wir sehen also, daß zum Heben eines Planetenelektrons aus einer bestimmten Schale

Tabelle 17. Wellenlänge der K = Absorptionsbandkante in Å nach Siegbahn. Nach Beobachtungen von Fricke, Duane, Blake, Hu, Stenström, Shimizu und Cabrera.

Element	Wellenlänge der K = Absorptionsbandkante in Å	Element	Wellenlänge der K = Absorptionsbandkante in Å
12 Mg	9,5112	48 Cd	0,4632
13 Al	7,9470	49 In	0,4434
15 P	5,7580	50 Sn	0,4242
16 S	5,0123	51 Sb	0,4065
17 Cl	4,3844	52 Te	0,3896
18 A	3,8657	53 J	0,3737
19 K	3,4345	55 Cs	0,3444
20 Ca	3,0633	56 Ba	0,3307
21 Sc	2,7517	57 La	0,3188
22 Ti	2,4937	58 Ce	0,3068
23 Va	2,2653	59 Pr	0,2951
24 Cr	2,0623	60 Nd	0,2846
25 Mn	1,8893	62 Sa	0,2644
26 Fe	1,7377	63 Eu	0,2548
27 Co	1,6018	64 Gd	0,2462
28 Ni	1,4890	65 Tb	0,2376
29 Cu	1,3785	66 Dy	0,2301
30 Zn	1,2963	67 Ho	0,2218
31 Ga	1,1902	69 Tu	0,2085
32 Ge	1,1146	70 Ad	0,2016
33 As	1,0435	71 Cp	0,1951
34 Se	0,9790	72 Hf	0,1901
35 Br	0,9179	73 Ta	0,1836
37 Rb	0,8143	74 W	0,17806
38 Sr	0,7696	76 Os	0,1683
39 Y	0,7255	78 Pt	0,1581
40 Zr	0,6872	79 Au	0,1534
41 Nb	0,6503	80 Hg	0,1490
42 Mo	0,61842	81 Tl	0,1449
44 Ru	0,5584	82 Pb	0,1410
45 Rh	0,5330	83 Bi	0,1371
46 Pd	0,5075	90 Th	0,1129
47 Ag	0,4850	92 U	0,1075

zur Atomperipherie stets eine ganz bestimmte Wellenlänge erforderlich ist. Diese Absorptionsbandkanten sind für die verschiedenen Elemente und ihre verschiedenen Schalen charakteristisch. Die Wellenlängen dieser Absorptionsbandkanten sind in den Tabellen zusammengestellt. Aus ihnen lassen sich die Energiebeträge berechnen, die zum Heben eines Elektrons zur Atomperipherie erforderlich sind. Sie sind

$$A_K = h \cdot \nu_K = h \cdot \frac{c}{\lambda_K}; \quad A_L = h \cdot \nu_L = h \cdot \frac{c}{\lambda_L} \ldots, \tag{27}$$

je nachdem das Elektron aus der K-, L- oder M-Schale gehoben wird.

Tabelle 18. Wellenlänge der L_1 = Absorptionsbandkante in Å nach Siegbahn.

Element	Wellenlänge der L_1 = Absorptionsbandkante in Å	Beobachter
47 Ag	3,6844	C.
51 Sb	2,9945	L.
52 Te	2,8470	L.
53 J	2,7124	L.
55 Cs	2,4678	L.
56 Ba	2,3577	H.
56 Ba	2,3567	C.
57 La	2,250	H.
58 Ce	2,1597	C.
59 Pr	2,0727	C.
60 Nd	1,9903	C.
62 Sm	1,8409	C.
63 Eu	1,773	C.
74 W	1,2136	D. u. P.
78 Pt	1,0704	D. u. P.
79 Au	1,0383	D. u. P.
80 Hg	1,0067	D. u. P.
81 Tl	0,9776	D. u. P.
82 Pb	0,9497	D. u. P.
83 Bi	0,9216	D. u. P
88 Ra	0,802	Br.
90 Th	0,7596	D. u. P.
92 U	0,7214	D. u. P.

(Bezeichnungen: C. = Coster, L. = Lindsay, H. = Hertz, D. u. P. = Duane und Patterson, Br. = de Broglie.)

Eigentlich gibt es 1 K-Schale, 3 L-Schalen, 5 M-Schalen usf. und dementsprechend auch 1, 3 oder 5 K-, L- oder M-Absorptionsbandkanten. Für die vorliegenden Betrachtungen genügt es indessen, in jedem Falle nur mit einer Schale und dementsprechend auch nur mit einer Absorptionsbandkante zu rechnen.

Wir können uns den geschilderten Vorgang klar machen, wenn wir die Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, die eine Röntgenröhre aussendet, spektral zerlegen und sie durch ein Absorbens treten lassen. In Abb. 13 ist dies schematisch dargestellt. Rechts sind die langwelligen, weichen, links die kurzwelligen, harten Strahlen aufgetragen. Weiche Strahlen werden bekanntlich stark absorbiert; sie bleiben zum großen Teil im Absorbens stecken. Je härter die Strahlen aber sind, um so durchdringungsfähiger sind sie bekanntlich, um so mehr läßt sie das Absorbens durch. Ist aber die Strahlung gerade so hart wie die Absorptionsbandkante des Absorbenten, besitzt die Strahlung also jene Wellenlänge, bei der ein Energiequant ausreicht, um ein Planetenelektron aus einer Schale zur Atomperipherie zu heben, so tritt sofort sprunghaft verstärkte Absorption ein: während also das Absorbens auf Energiequanten, die auch nur eine Spur zu klein sind, um die erforderliche Lostrennungsarbeit zu leisten, gar nicht anspricht, nutzt es die Fähigkeit derjenigen

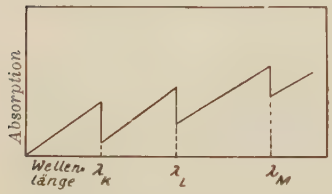


Abb. 13. Schematische Darstellung der Absorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Tabelle 19.
Wellenlänge der M_1 = Absorptionsbandkante in Å nach Siegbahn.

Element	Wellenlänge der M_1 = Absorptionsbandkante in Å	Beobachter
83 Bi	4,762	Coster
90 Th	3,721	Stenström
92 U	3,491	„

Quanten, die gerade groß genug sind, um die Lostrennungsarbeit zu leisten, maximal aus. Mit fortschreitender Abnahme der Wellenlänge wiederholt sich derselbe Vorgang an den Absorptionsbandkanten der anderen, weiter innen liegenden Schalen.

Je nach der Schale, aus der ein Elektron an die Atomperipherie gehoben wird, ist die erforderliche Lostrennungsarbeit A also verschieden. Wird Strahlung einer bestimmten Wellenlänge λ absorbiert, so ist demnach auch der Restbetrag an Energie, der für

die kinetische Energie des in Freiheit gesetzten Elektrons zur Verfügung steht, verschieden: Kombination der Gleichungen (23) und (27) ergibt für die kinetische Energie des Elektrons

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = h \cdot \nu - h \cdot \nu_A = h \cdot \frac{c}{\lambda} - h \cdot \frac{c}{\lambda_A} = h \cdot c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_A} \right), \tag{28}$$

worin ν_A die Frequenz, λ_A die Wellenlänge der Absorptionsbandkante bedeutet. Entstammt das Elektron der K-Schale, so ist bei bestimmter, absorbierter Energie seine kinetische Energie und daher auch seine Geschwindigkeit am kleinsten, da die Lostrennungsarbeit A alsdann am größten ist; entstammt es der L-Schale, so ist seine kinetische Energie und Geschwindigkeit größer, und sie ist ganz allgemein um so größer, je weiter außen die Schale liegt, aus der das Elektron gerissen wurde. Bei einer Strahlung gegebener Wellenlänge und bei einem bestimmten diese absorbierenden Elemente wird es also immer eine ganze Reihe verschiedener kinetischer Energien und Geschwindigkeiten geben, mit denen die Elektronen austreten, je nach den Schalen, aus denen sie kommen. Und zwar beträgt diese kinetische Energie

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{m}{2} \cdot v_K^2 = h \cdot \nu - h\nu_K = h \cdot c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_K} \right), \\
&\frac{m}{2} \cdot v_L^2 = h \cdot \nu - h\nu_L = h \cdot c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_L} \right), \\
&\frac{m}{2} \cdot v_M^2 = h \cdot \nu - h\nu_M = h \cdot c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_M} \right), \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
&\frac{m}{2} \cdot v_0^2 = h \cdot \nu,
\end{aligned}\right\} \tag{29}$$

wenn λ und ν Wellenlänge und Frequenz der einfallenden Strahlung, λ_K und ν_K die der Absorptionsbandkante der K-Schale, λ_L und ν_L die der L-Schale und v_K v_L die zugehörigen Elektronengeschwindigkeiten sind, während v_0 die Geschwindigkeit eines Elektrons ist, das sich schon an der Atomperipherie befand, als es aus dieser gerissen wurde.

Die Gültigkeit dieser Beziehungen, die ein Ausdruck dafür sind, daß sich die Energie eines absorbierten Strahlungsquants auf die Lostrennungsarbeit $A = h \cdot \frac{c}{\lambda_A}$ und auf die kinetische Energie des austretenden Elektrons verteilt, wurde gleichzeitig und unabhängig durch de Broglie und durch Whiddington experimentell erwiesen. Sie bedienten sich des elektrodynamischen Gesetzes, daß die geradlinige Bahn eines Elektrons zu einer Kreisbahn aufgerollt wird, wenn man es in ein magnetisches Feld treten läßt. Kennt man die Stärke $\mathfrak{H}$ des magnetischen Feldes, so kann man nach der einfachen Beziehung

$$v = \mathfrak{H} \cdot R \cdot \frac{\varepsilon}{m}, \tag{30}$$

in der ε und m die bekannte Ladung und Masse des Elektrons bedeuten, die Geschwindigkeit v des Elektrons aus dem Radius R seiner Bahn berechnen. Beide Forscher ließen Spektrallinien, also Röntgenstrahlen, deren Wellenlänge nach Tabelle 22 und 23 genau bekannt ist, auf verschiedene Elemente fallen, deren Absorptionsbandkanten für die verschiedenen Elektronenschalen nach Tabelle 17—19 ebenfalls bekannt sind. Aus der experimentell bestimmten Geschwindigkeit v des Elektrons läßt sich die kinetische Energie $\frac{m}{2} \cdot v^2$

des Elektrons bestimmen, und diese muß, wenn unsere obigen Ausführungen zu Recht bestehen sollen, gleich sein der Differenz, die sich nach Gleichung (28) aus der Energie des absorbierten Strahlungsquants $h \cdot \frac{c}{\lambda}$ und der Abtrennungsarbeit $h \cdot \frac{c}{\lambda_A}$ ergibt. Die vorzügliche Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung zeigt Tabelle 20, die

Tabelle 20. Zur Bestimmung der kinetischen Energie von Röntgenstrahlen abgetrennter Primärelektronen nach Whiddington.

ν Gemessen	Elektron aus der Kupferschale (Frequenz)	Erregende Strahlung (Frequenz)	ν Berechnet
172 st.	L (22)	Cu K α (195)	173
193 st.	L (22)	Cu K β (216)	194
	Oberfläche (O)	Cu K α (195)	195
217 schw.	Oberfläche (O)	Cu K β (216)	216
270 st.	K (217)	Rh K α (490)	273
287 schw.	?	?	
313 st.	K ? (217)	Rh K β (551)	334
461 st.	L (22)	Rh K α (490)	468
502 schw.	L (22)	Rh K β (551)	529
	Oberfläche (O)	Rh K α (490)	490
552 sehr schw.	Oberfläche (O)	Rh K β (551)	551

Antikathode: Rhodium; Sekundärstrahler: Kupfer.

der Untersuchung Whiddingtons entnommen ist. Als absorbierte Strahlungen dienten die K_α- und K_β-Linie von Kupfer und die K_α- und K_β-Linie von Rhodium, als absorbierendes Element diente Kupfer. Neben die Bezeichnung der Schalen, denen das Elektron entstammt, ist in Klammer die Frequenz der zugehörigen Absorptionsband-

Tabelle 21. Asymmetrie in der Ausbreitung von schnellen Primärelektronen nach C. T. R. Wilson.

Bahnlänge in mm	Spannung in kV	Gesamtzahl der Bahnen	Bahnen mit +, 0 und — Vorwärtskomponente					
			Zahl in jeder Klasse			Zahl in jeder Klasse in %		
			+	0	—	+	0	—
20—30	30 -36	223	155	37	31	69	17	14
15—20	25—30	662	385	136	141	58	21	21
7—15	17—25	202	106	56	40	52	28	20
2—7	9—17	61	28	21	12	45	35	20

kante, neben die Bezeichnung der absorbierten Strahlung die Frequenz derselben gesetzt.

Vergleichen wir weiterhin die Geschwindigkeit von Elektronen, die aus derselben Schale stammen, die aber von Strahlungen verschiedener Härte aus diesen herausgerissen werden, so muß, da die Abtrennungsarbeit hierbei in allen Fällen die gleiche ist, die kinetische Energie und deshalb auch die Geschwindigkeit des befreiten Elektrons um so größer sein, je größer die Energie des absorbierten Strahlungsquants, je härter also die absorbierte Strahlung ist. Daß dies tatsächlich der Fall ist, hat C. T. R. Wilson sehr augenfällig nachgewiesen. Wilson gelang es, wie wir im I. Kapitel sahen, die Bahnen

von Elektronen, die durch Röntgenstrahlen aus den Atomen der Luftmoleküle herausgerissen werden, mit Hilfe seiner Nebelmethode sichtbar zu machen. Abb. 14a zeigt die stereoskopische Aufnahme solcher Elektronenbahnen, die durch die langwellige Kupferstrahlung (1,54 Å), Abb. 14b Elektronenbahnen, die durch die kurzwellige Silberstrahlung (0,56 Å) an Luft unter gleichen Bedingungen ausgelöst wurden. Man erkennt deutlich, daß die kurzwelligere Strahlung Elektronen größerer kinetischer Energie und daher größerer Bahnlänge in Freiheit setzt.

Wilson hat an 1148 Bahnen den Winkel zwischen der Anfangsrichtung langbahniger Primärelektronen und der Richtung der Röntgenstrahlen untersucht. Tabelle 21 zeigt seine Ergebnisse. In ihr sind Bahnen mit Vorwärtskomponente mit +, solche mit

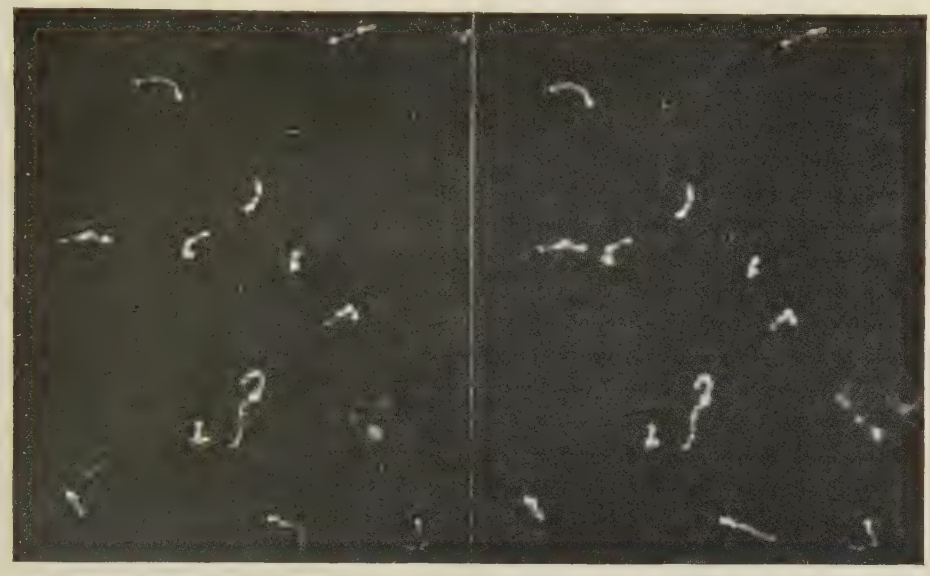


Abb. 14a Nebelaufnahme von Elektronenbahnen von C. T. R. Wilson. Stereoskopische Aufnahme primärer Röntgenelektronen, die durch Kupfer-K-Strahlung ausgelöst wurden. Enddruck 53 cm.

Rückwärtskomponente mit — und rechtwinklig zum Röntgenstrahl verlaufende Bahnen mit 0 bezeichnet. Wie die letzte Spalte lehrt, wächst die Vorwärtskomponente rapid mit der Geschwindigkeit der Primärelektronen, d. h. mit der Härte der Röntgenstrahlen. Die Zunahme erfolgt hauptsächlich auf Kosten der rechtwinkligen Bahnen. Ebenso fanden neuerdings nach anderen Methoden Bothe und Seitz, daß mit zunehmender Härte der Röntgenstrahlen die Emission in Richtung der Röntgenstrahlen bevorzugt wird.

b) Emission charakteristischer Strahlung.

Da Energie nie verlorengehen kann, so muß auch diejenige Energie, die als Lostrennungsarbeit A beim Ionisationsvorgang verbraucht und damit an das Atom abgegeben wurde, wieder in einer anderen Form in Erscheinung treten. Wir wollen sehen, wie das beim Bohrschen Atom geschieht.

Strahlung wird beim Bohrschen Atom dann emittiert, wenn ein Elektron von einer äußeren auf eine innere Bahn springt. Wurde beim Absorptionsvorgang unter Aufwendung der Lostrennungsarbeit A ein Planetenelektron aus einer inneren Schale an die Atomperipherie gebracht, so wird alsbald — innerhalb von ein Hundertmillionstel

Sekunde — ein anderes Planetenelektron aus einer äußeren Schale auf den freigewordenen Platz zurückfallen, und dabei wird Strahlung emittiert. Springt ein solches Elektron aus der n^{ten} auf die m^{te} Quantenbahn, so wird dabei Strahlung einer einzigen, ganz bestimmten Frequenz und also auch Wellenlänge emittiert; d. h. es entsteht eine Spektral-

Abb. 14b. Nebelaufnahme von Elektronenbahnen von C. T. R. Wilson. Stereoskopische Aufnahme primärer Röntgenelektronen, die durch Silber-K-Strahlung ausgelöst wurden. Enddruck 53 cm.

linie. Handelt es sich dabei um das Element mit der Stellenzahl Z im periodischen System, so gilt für die Frequenz der emittierten Strahlung:

$$\nu_c = \frac{c}{\lambda_c} = R \cdot (Z - s)^2 \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right). \tag{31}$$

Hierin ist R = 109677,69 eine universelle Konstante, die sog. Rydbergkonstante, und s ist eine im allgemeinen bekannte Konstante, deren Wert durch die Bahnen bestimmt wird, zwischen denen das Elektron springt. Die Wellenlänge λ_c ist also auch dann, wenn das Elektron zwischen denselben Bahnen springt, abhängig von Z und damit für das betreffende Element charakteristisch. Die bei diesem Vorgange emittierte Strahlung wird daher charakteristische Strahlung genannt.

Wurde bei der Absorption ein Elektron aus der innersten, der K-Schale, gerissen,

Tabelle 22. Wellenlängen der K-Reihe in Å. Emission nach Siegbahn.

Element	α'	α	β	γ
11 Na		11,8836	11,591	
12 Mg		9,86775	9,5345	
13 Al		8,31940	7,9405	
14 Si		7,10917	6,7393	
15 P		6,14171	5,7861	—
16 S	5,36375	5,36090	5,0213	—
17 Cl	4,72136	4,71821	4,3946	—
19 K	3,73706	3,73368	3,44680	
20 Ca	3,35495	3,35169	3,08343	—
21 Sc	3,02840	3,02503	2,77394	—
22 Ti	2,74681	2,74317	2,50898	2,4937
23 Va	2,50213	2,49835	2,27972	2,2646
24 Cr	2,28895	2,28484	2,08045	2,0670
25 Mn	—	2,09732	1,90591	1,8932
26 Fe	1,93651	1,93230	1,75272	1,7406
27 Co	1,78956	1,78528	1,61713	1,6054
28 Ni	1,65854	1,65461	1,49703	1,4854
29 Cu	1,54116	1,53730	1,38933	1,3780
30 Zn	1,43587	1,43206	1,29271	1,28111
31 Ga	—	—	—	—
32 Ge	1,25421	1,25130	1,12646	1,11441
33 As	1,17741	1,17344	1,05511	—
34 Se	1,10642	1,10241	0,99000	0,97744
35 Br	1,04172	1,03768	0,93073	0,91822
37 Rb	0,92773	0,92361	0,82673	0,81462
38 Sr	0,87745	0,87328	0,78106	0,76874
39 Y	0,83121	0,82703	0,73902	0,72677
40 Zr	0,78827	0,78406	0,69998	0,68808
41 Nb	0,74879	0,74454	0,63398	0,65237
42 Mo	0,71187	0,70759	0,63075	0,61927
44 Ru	0,64588	0,64154	—	—
45 Rh	0,61637	0,61201	0,54467	0,53437
46 Pd	0,58860	0,58421	0,51948	0,50894
47 Ag	0,56259	0,55816	0,49585	0,48542
48 Cd	0,53832	0,53389	0,47409	0,46396
49 In	0,51548	0,51105	0,45363	0,44398
50 Sn	0,49388	0,48941	0,43425	0,42472
51 Sb	0,47384	0,46929	0,41616	0,40681
52 Te	0,45491	0,45037	0,39892	0,38988
74 W	0,21352	0,20885	0,18436	0,17940
77 Ir	0,1958	—	0,1684	—
78 Pt	0,19010	0,18528	0,1634	0,1582

so kann ein anderes aus der zweiten, der L-Schale, an seine Stelle springen. Die Linie, die alsdann emittiert wird, wird die K_α-Linie genannt, und ihre Frequenz ist bei allen Elementen

$$\nu_{K\alpha} = \frac{c}{\lambda_{K\alpha}} = R \cdot (Z-1)^2 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = R \cdot (Z-1)^2 \cdot \frac{3}{4}. \tag{32}$$

An die so in der L-Schale freigewordene Stelle kann ein Elektron aus der M-Schale springen. Dann wird die L_α-Linie emittiert, und deren Frequenz ist bei allen Elementen

$$\nu_{L\alpha} = \frac{c}{\lambda_{L\alpha}} = R \cdot (Z-7{,}5)^2 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = R \cdot (Z-7{,}5)^2 \cdot \frac{5}{36}. \tag{33}$$

An die Stelle dieses Elektrons springt wieder ein anderes von weiter außen her usf., bis die auf der äußersten Bahn freigewordene Stelle durch Einfangen eines Elektrons wieder besetzt und das Atom dadurch wieder elektrisch neutral wird. Die Summe der Einzelenergien $h\nu_{K\alpha}$, $h\nu_{L\alpha}$ ... muß dabei gleich der Lostrennungsarbeit A sein, so daß

$$h \cdot \nu_{K\alpha} + h\nu_{L\alpha} + \ldots = A \tag{34}$$

ist.

Es ist indessen keineswegs immer der Fall, daß die Elektronen genau der Reihe nach in die freigewordenen Stellen einrücken. Vielmehr tritt es sehr häufig ein, daß ein Elek-

Tabelle 23. Wellenlängen der L_α-Linien in Å (nach Siegbahn).

Element	L_α	Element	L_α	Element	L_α
29 Cu	13,309	49 Jn	3,76367	68 Er	1,78040
30 Zn	12,222	50 Sn	3,59218	70 Ad	1,66779
32 Ge	10,413	51 Sb	3,43177	71 Cp	1,61551
33 As	9,6503	52 Te	3,28199	72 Hf	1,56614
34 Se	8,9706	53 J	3,14166	73 Ta	1,51825
35 Br	8,3566	55 Cs	2,88610	74 W	1,47348
37 Rb	7,3027	56 Ba	2,76964	76 Os	1,38816
38 Sr	6,8478	57 La	2,65968	77 Jr	1,34834
39 Y	6,4349	58 Ce	2,55600	78 Pt	1,31008
40 Zr	6,0559	59 Pr	2,45770	79 Au	1,27355
41 Nb	5,7113	60 Nd	2.36531	80 Hg	1,2385
42 Mo	5,3943	62 Sm	2,19501	81 Tl	1,20471
44 Ru	4,83567	63 Eu	2,11633	82 Pb	1,17202
45 Rh	4,58778	64 Gd	2,04193	83 Bi	1,14115
46 Pd	4,35850	65 Tb	1,97149	90 Th	0,95342
47 Ag	4,14564	66 Dy	1,90460	92 U	0,90833
48 Cd	3.94782	67 Ho	1,84098		

tron aus einer äußeren Schale über eine mittlere hinweg direkt in eine innere springt, so z. B. aus der M- in die K-Schale. Alsdann wird eine etwas kurzwelligere Linie als die K_α-Linie, die sog. K_β-Linie emittiert.

Alle Elektronen, die von außen her in die K-Schale springen, liefern die Linien der K-Serie; alle Elektronen, die in die L-Schale springen, die der L-Serie usf. Die Hellig-

Tabelle 24. Wellenlängen der M_α-Linien in A (nach Siegbahn).

Element	M_α	Element	M_α	Element	M_α
66 Dy	9,509	74 W	6,973	81 Tl	5,445
67 Ho	9,123	76 Os	6,477	82 Pb	5,276
68 Er	8,770	77 Ir	6,245	83 Bi	5,100
70 Ad	8,123	78 Pt	6,028	90 Th	4,119
71 Cp	7,818	79 Au	5.819	92 U	3,901
73 Ta	7.237				

keit der einzelnen Spektrallinien ist dabei bedingt durch die Häufigkeit, mit der sich der eine oder der andere Akt vollzieht. Die Wellenlängen derselben Serie unterscheiden sich nur verhältnismäßig wenig, die der verschiedenen Serien verhältnismäßig stark voneinander. In den Tabellen 22—24 sind die Linien der K-Serie und die intensivsten Linien der L- und M-Serie aufgeführt. Abb. 15 zeigt die Linien der K-Serie einer Folge von Elementen nach Aufnahmen von Moseley. Gleiche Wellenlängen stehen übereinander.

Das Wesentlichste an unseren Ausführungen ist: wird Röntgenstrahlung, wie das stets geschieht, quantenhaft absorbiert, so tritt die absorbierte Energie stets in zwei neuen Formen auf: einerseits in Form kinetischer Energie losgerissener Planetenelektronen, und anderseits in Form charakteristischer Strahlungsenergie. Dieses unzertrennlich paarweise Auftreten der beiden sekundären Energieformen zeigt in hervorragend deutlicher Weise eine stereoskopische Aufnahme Wilsons nach seiner Nebelmethode (Abb. 16). Wilson ließ einen Röntgenstrahl von $^1/_2$ mm Durchmesser auf ein 0,03 mm dickes Kupferblech fallen, das an dem in der Aufnahme sichtbaren Halter in der Nebelkammer angebracht war. Auf der Austrittsseite der Röntgenstrahlen aus diesem erkennt man einerseits die lange Bahn des losgerissenen Planetenelektrons; anderseits ist auch der Punkt mit auf die Platte gekommen, in dem das nach dem Losreißen des Planetenelektrons emittierte Strahlungsquant der charakteristischen Kupfer-K-Strahlung von einem Luftmolekül wieder absorbiert wurde: aus einem Atom hat es ein Planetenelektron losgerissen, welches, wegen der geringen Energie des Kupfer-K-Strahlungsquants, nur eine geringe Geschwindigkeit besitzt und daher nur eine kurze Bahn beschreiben kann.

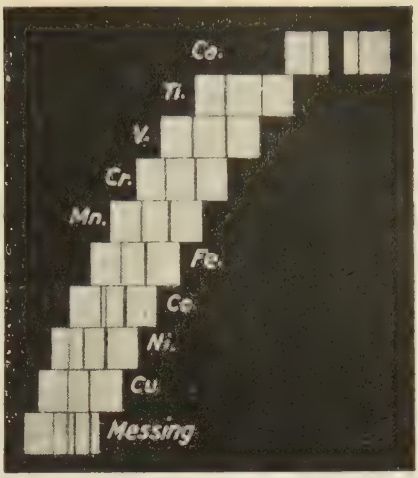


Abb. 15. Röntgenspektra verschiedener Elemente (K-Serie) nach Mosely (aus Siegbahn, „Spektroskopie der Röntgenstrahlen").

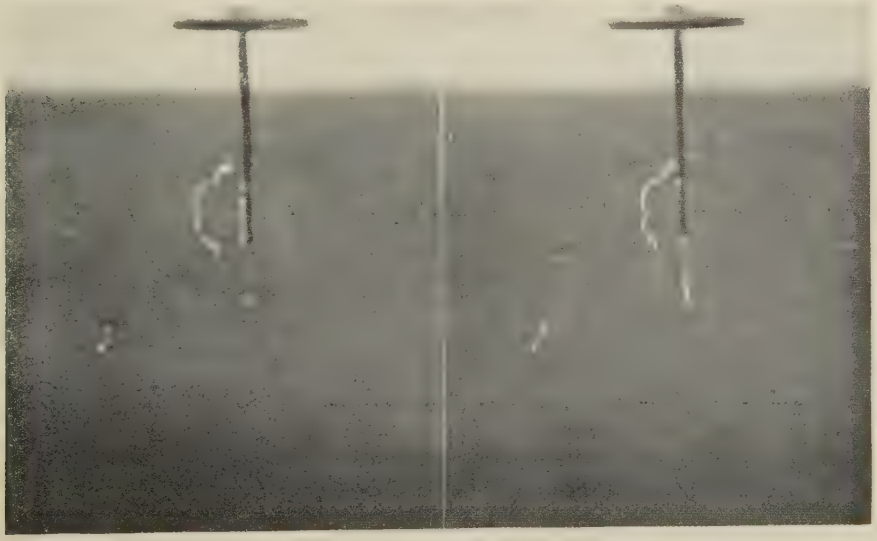


Abb. 16. Stereoskopische Nebelaufnahme von C. T. R. Wilson. Das Röntgenstrahlbündel von 0,5 mm Durchmesser fällt nach Filterung mit 9,2 mm Aluminium auf eine Kupferplatte von 0,08 mm Dicke. Enddruck etwa 0,7 Atmosphären. Außer der langen Bahn des von den Röntgenstrahlen ausgelösten Primärelektrons erkennt man eine kurze Bahn. Sie rührt her von der Absorption des Quants charakteristischer Kupfer-K-Strahlung, dessen Emission auf die Abtrennung des langbahnigen Elektrons folgte.

2. Absorption von kinetischer Energie stoßender Elektronen und Emission von Röntgenstrahlen und Elektronen.

a) Emission von Röntgenstrahlung.

α) Charakteristische Strahlung.

Tritt ein Elektron aus einem Atom mit der Geschwindigkeit Null aus, wie z. B. aus einem Wolframatom jener Wolframdraht-Glühspiralen, die unsere gasfreien Röntgenröhren besitzen, so kann man diesem Elektron eine Geschwindigkeit verteilen, wenn man zwischen die Glühspirale und eine andere Elektrode — bei den Röntgenröhren die Antikathode — eine Spannungsdifferenz von V Volt legt, wobei man wegen der Anziehung einer

Tabelle 25. Bruchteile der Lichtgeschwindigkeit v und Voltgeschwindigkeit V_p in Volt (nach Lenard).

v	V_p	v	V_p
Lg	Volt	Lg	Volt
0,005	6,37	0,80	342000
0,01	25,5	0,81	361000
0,02	102	0,82	382000
0,03	230	0,83	405000
0,04	409	0,84	431000
0,05	637	0,85	459000
0,1	2560	0,86	490000
0,15	5840	0,87	525000
0,2	10500	0,88	565000
0,25	16700	0,89	610000
0,3	24700	0,90	662000
0,35	34300	0,91	722000
0,4	46500	0,92	793000
0,45	61200	0,93	879000
0,5	79100	0,94	986000
0,55	101000	0,95	1130000
0,6	128000	0,96	1310000
0,65	161000	0,97	1590000
0,7	203000	0,98	2060000
0,75	260000	0,99	3110000
0,80	342000	0,995	4600000

positiven Ladung und wegen der Abstoßung einer negativen Ladung auf das negativ geladene Elektron die Antikathode mit dem positiven und die Glühspirale mit dem negativen Pol der Spannungsquelle zu verbinden hat. Die kinetische Energie des Elektrons nach Durchlaufen der Spannungsdifferenz beträgt dann

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \varepsilon \cdot V, \tag{35}$$

worin ε die Ladung und m die Masse des Elektrons bedeutet. In Tabelle 25 ist eingetragen, welche Geschwindigkeit das Elektron nach Durchlaufen der Spannungsdifferenz V besitzt. Die Geschwindigkeit ist dabei in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit angegeben, welche zu 300000 km pro Sekunde bekannt ist. Wegen der Eindeutigkeit der Beziehung spricht man vielfach auch von der „Voltgeschwindigkeit" des Elektrons und meint damit jene Geschwindigkeit v, die es besitzt, wenn es V Volt durchlaufen hat.

Setzt man in Gleichung (35) die Werte für die Konstanten h, c und ε, gemessen in elektromagnetischen Einheiten, ein, so erhält man die Beziehung

$$\lambda \cdot V = 12{,}3 \qquad (36)$$

worin λ in Å, V in Kilovolt gemessen ist.

Die Emission charakteristischer Röntgenstrahlung bei Absorption kinetischer Energie stoßender Elektronen können wir am besten verfolgen, wenn wir die Vorgänge am Röntgenrohre selbst betrachten. Legt man der Reihe nach höhere Spannungen an das Röntgenrohr, so kann man mit Spektralapparat und Ionisationskammer das Auftreten der charakteristischen Strahlung verfolgen. Abb. 17 zeigt eine Aufnahme von Webster und Clark, die bei einer Röntgenröhre mit Rhodiumantikathode erhalten wurde. Die Reflexionswinkel des Spektralapparates, die statt der Wellenlängen aufgetragen sind, steigen mit diesen an. Wie Tabelle 17 lehrt, mißt die Absorptionsbandkante der K-Serie des Rhodiums 0,533 Å. Nach Gleichung (36) läßt sich leicht berechnen, daß dies 23,2 kV entspricht. Bei 23,2 kV Röhrenspannung hat das stoßende Elektron noch nicht die hinreichende kinetische Energie, um ein Planetenelektron aus der K-Schale des Rhodiums an die Atomperipherie zu heben und es so zur Emission seiner K-Serie zu präparieren. Das zeigt die unterste Kurve der Abb. 17. Wird diese Spannung aber überschritten, so ist die kinetische Energie des stoßenden Elektrons für diesen Akt ausreichend, und die Linien der K-Serie werden emittiert, und zwar um so intensiver, je höher die Spannung oder die kinetische Energie des Elektrons ist, was aus der Höhe der Spitzen hervorgeht, welche der Intensität der Spektrallinien entsprechen. Daß die K_α-Linie nicht etwa dann schon emittiert wird, wenn das Elektron die ihrer Wellenlänge von 0,612 Å nach Tabelle 22 entsprechende Voltgeschwindigkeit von 20,1 kV besitzt, steht völlig im Einklang mit unserer oben entwickelten Anschauung, daß erst ein Elektron der K-Schale an die Atomperipherie gehoben werden muß; alsdann werden alle zur K-Serie gehörenden Linien gleichzeitig emittiert.

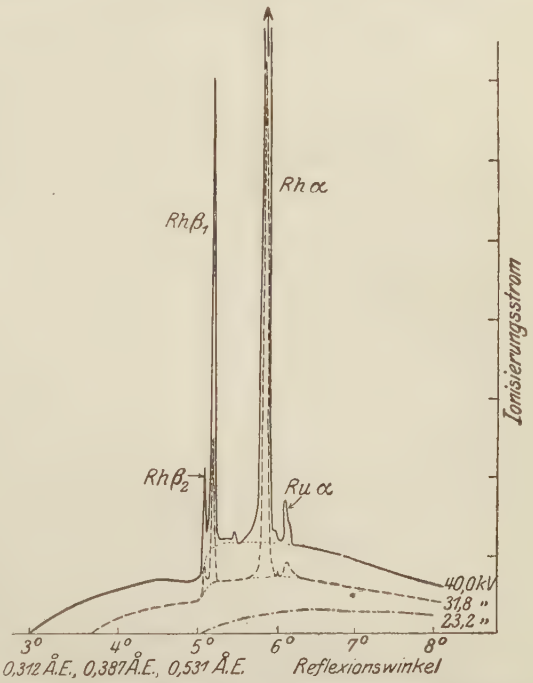


Abb. 17. Kontinuierliches Ionisationsspektrum und charakteristische Röntgenstrahlung des Rhodiums nach Webster und Clark (aus Siegbahn, „Spektroskopie der Röntgenstrahlen").

Die Intensität der Spektrallinien, die um so größer ist, je mehr die kinetische Energie des Elektrons diejenige Energie überschreitet, welche der Absorptionsbandkante der betreffenden Serie entspricht, ist ein Maß dafür, wie häufig der Fall eintritt, daß eines der vielen stoßenden Elektronen gleicher kinetischer Energie diese durch einen Absorptionsakt verliert (vgl. hierüber das X. Kapitel).

Die ionisierende Wirkung der charakteristischen Strahlung eines Gases wird in-

dessen so gering sein im Vergleich zu der unter 2 b, 1 zu besprechenden Wirkung, daß wir sie vernachlässigen dürfen.

3. Bremsstrahlung.

Es kann auch der Fall eintreten, daß ein Elektron beim Zusammenstoße mit einem Atom dasselbe durchsetzt, dabei aber so nahe an dessen Kern vorbeikommt, daß es eine Bahnablenkung erleidet. In der Tat beobachtete Wilson auf seinen Nebelaufnahmen für Primärelektronen zwischen 15 und 25 kV-Geschwindigkeit bei 8,8 % aller Bahnen solche plötzliche Ablenkungen um 90° oder mehr, ein Prozentsatz, der sehr gut mit Rutherfords Theorie der Kernablenkung in Einklang steht. Eine solche plötzliche Bahnablenkung des Elektrons kommt einer teilweisen Bremsung desselben gleich, und nach der Theorie der Bremsstrahlung von Wiechert, Thomson, Stokes und Sommerfeld ist mit dieser Bremsung die Emission von Röntgenstrahlung verbunden. Vereinzelt wird der Fall eintreten, daß ein Elektron bei einem einzigen Bremsvorgange seine gesamte Geschwindigkeit verliert, ohne am Atom hängenzubleiben. Dieser Grenzfall entspricht der Emission der Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums (vgl. X. Kapitel).

Wir wissen indessen aus den Untersuchungen Wiens, daß nur etwa $1\,\%$ der Energie der Kathodenstrahlen unserer Röntgenröhren in Bremsstrahlung umgesetzt wird. Die übrigen $99\,\%$ treten als Wärme der Antikathode zutage. Der auf Bremsstrahlung entfallende Energiebetrag ist also verschwindend klein. Im Zusammenhange mit Wilsons obigem Ergebnis würde dann folgen, daß ein Elektron von 15–25 kV Geschwindigkeit bei einer Bahnablenkung einen Energieverlust erleidet, dessen Größenordnung im Mittel $1\,\%$ seiner kinetischen Energie beträgt. Wir dürfen also sowohl den Energieverlust des Primärelektrons bei der Bremsung als auch die Bremsstrahlungsenergie selbst als belanglos vernachlässigen.

b) Emission von Sekundärelektronen.

Beim Zusammentreffen eines Primärelektrons mit einem Atom tritt häufig der Fall ein, daß das Primärelektron ein Planetenelektron aus dem Atom herausreißt. Hiermit ist ein Energieverlust des Primärelektrons verbunden. Diese dem Primärelektron verlorengegangene Energie setzt sich in dieselben Energieformen um wie bei der Absorption eines Strahlungsquants durch ein Atom, die wir im 1. Teile dieses Kapitels besprachen; der eine Teil dieser Energie wird zur Abtrennungsarbeit des Planetenelektrons verbraucht und wird in Form charakteristischer Strahlung des Atoms wieder frei, der Restbetrag der vom Primärelektron verlorenen Energie tritt in Form kinetischer Energie des Planetenelektrons auf, das die Atomperipherie mit einer gewissen Geschwindigkeit verläßt.

Für diese Form der Energieumsetzung haben wir drei Fälle zu unterscheiden:

1) Das Primärelektron erleidet beim Stoß nur einen sehr geringen Geschwindigkeitsverlust, der nur wenigen Volt entspricht. Nach Wilson ist die Zahl derjenigen Elektronen, die bei den Atomen der Luftmoleküle aus der K-Schale gerissen werden, nur $^1/_{120}$ derjenigen Elektronen, die aus anderen Schalen stammen. Das Primärelektron reißt also im allgemeinen ein Planetenelektron aus einer äußeren Schale heraus. Entsprechend dem geringen Geschwindigkeitsverluste des Primärelektrons haben diese sekundären Elektronen auch nur geringe Geschwindigkeit. Am häufigsten ist der Fall, daß sie nur von ihrem Mutteratom getrennt werden, so daß beide ein Trägerpaar bilden. Seltener ist der Fall, daß sie mit hinreichend großer Geschwindigkeit auftreten, um selbst wieder im Zusammenstoß mit anderen Atomen Trägerpaare zu bilden. Wilson hieß

Röntgenstrahlen auf Luft fallen. Hierbei entstanden in bekannter Weise primäre Elektronen. Wilson zählte die Bahnen der langsamen Sekundärelektronen, die von jenen aus den Atomen der Luftmoleküle herausgerissen wurden; und er zählte weiter die tertiären Elektronen, die jedes langsame sekundäre Elektron seinerseits erzeugte. Die Tabelle 26 lehrt, daß die sekundären Elektronenbahnen um so seltener sind, je mehr Tertiärelektronen das sekundäre Elektron darauf auslöst.

Tabelle 26.

Nach C. T. R. Wilsons Beobachtungen erzeugten 8 Primärelektronen, die von Röntgenstrahlen an Luft ausgelöst waren, insgesamt auf ihren Bahnen

55	Sekundärelektronen, deren jedes	1	tertiäres Ion	abspaltete;
29	„	„ „	4	tertiäre Ionen	„
16	„	„ „	6	„	„ „
13	„	„ „	8	„	„ „
16	„	„ „	mehr als 8	„	„ „ .

Desgleichen erzeugte 1 schnelles Primärelektron (β-Teilchen unbekannter Herkunft) auf seiner Bahn in Luft

13	Sekundärelektronen, deren jedes	2	tertiäre Ionen	abspaltete;
5	„	„ „	4	„	„ „
2	„	„ „	6	„	„ „
2	„	„ „	8	„	„ „
1	Sekundärelektron, welches 10	tertiäre Ionen	abspaltete;		

außerdem zeigte sich eine unauflösbare Sekundärelektronenbahn.

Über die Energieumsetzungen zwischen primären, sekundären und tertiären Elektronen verdanken wir Lenard sehr reichhaltiges Zahlenmaterial, das im Auszuge in Tabelle 27 mitgeteilt ist. Die Zahlen sind als statistische Mittelwerte aufzufassen. Spalte 1 gibt die Geschwindigkeit des Primärelektrons in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit. Spalte 2 seine Voltgeschwindigkeit in kV. Spalte 3 zeigt, wieviel Zentimeter ein Primärelektron in Luft von 760 mm Quecksilber Druck bei 0^0 C. günstigstenfalls zurückzulegen vermag, ohne sich an ein Molekül oder Ion anzulagern: die Bahnlänge wächst mit der Geschwindigkeit und der kinetischen Energie des Elektrons. Den Verlust an Energie, den das Primärelektron bei jedem Zusammenstoß erleidet, der mit Ionisierung verbunden ist, gibt Spalte 4. Um ein Planetenelektron hierbei an die Atomperipherie zu heben, ist eine Abtrennungsarbeit erforderlich, die nach Lenard etwa 7 Volt, nach Wilson etwa 6,8 Volt entspricht, was gut übereinstimmt. Der Überschuß über 7 Volt steht dem Sekundärelektron als kinetische Energie zur Verfügung. Spalte 5 zeigt die um 7 Volt verminderten Werte der Spalte 4. Sie lehrt, daß auch die Geschwindigkeit der Sekundärelektronen mit der der primären steigt. Spalte 6 teilt die Zahl der Sekundärelektronen mit, die ein Primärelektron durchschnittlich längs 1 cm seiner Bahn auslöst: je geringer die Geschwindigkeit des Primärelektrons nach dem Ende seiner Bahn zu wird, desto dichter liegen die Sekundärelektronen auf dieser, was sich auch deutlich aus Wilsons Aufnahmen (z. B. Abb. 10, 14, und 16) erkennen läßt. Die Zahl von Tertiärelektronen, die ein Primärelektron auf dem Umwege über viele Sekundärelektronen längs 1 cm seiner Bahn in Freiheit setzt, ist nach Spalte 7 verschwindend klein, solange die Geschwindigkeit des Primärelektrons und daher auch die des sekundären nicht sehr groß ist, und erst bei sehr großen Primärgeschwindigkeit erzeugt ein Primärelektron viele Tertiärelektronen auf 1 cm Bahn. Die Gesamtzahl an sekundären und tertiären Elektronen, die ein Primärelektron längs 1 cm seiner Bahn erzeugt, gibt Spalte 8 als Summe der Werte aus den Spalten 6 und 7. Und die Gesamtzahl an sekundären und tertiären Elektronen,

die ein Primärelektron gegebener Geschwindigkeit auf seiner ganzen Bahn auszulösen vermag, zeigt Spalte 9. Man erkennt, daß sie mit zunehmender Geschwindigkeit des Primärelektrons stark ansteigt. Man sollte aus der Bahnlänge des Primärelektrons (Spalte 3) und aus der pro Zentimeter seiner Bahn gebildeten Gesamtträgerzahl (Spalte 8) schließen, daß das Primärelektron eine weit größere Gesamtzahl an Trägern längs seiner ganzen Bahn in Freiheit setzt, als Spalte 9 angibt. In Wirklichkeit ist aber der Prozentsatz an Primärelektronen, welche durch Anlagerung an ein Luftmolekül ein vorzeitiges Bahnende finden, um so größer, je langsamer die Anfangsgeschwindigkeit der Primärelektronen ist. Nur bei verhältnismäßig wenigen unter ihnen kommt daher

Tabelle 27. Angaben Lenards über die Umsetzung der kinetischen Energie primärer Elektronen bei sekundärer und tertiärer Trägerbildung.

Primärelektron				Sekundäre Elektronen		Tertiäre Elektronen, die 1 primäres (auf dem Umwege über viele sekundäre) pro cm seiner Bahn auslöst	Gesamtzahl der sekundären + tertiären Elektronen, die das Primärelektron	
Geschwindigkeit in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit	Voltgeschwindigkeit V_p in kV	Höchste Bahnlänge in Luft von 0° C und 760 mm H_g in cm	Energieverlust pro Durchquerung in Volt	Voltgeschwindigkeit V_s in Volt	Zahl, die ein Primärelektron pro cm auslöst		pro cm seiner Bahn auslöst	auf seiner ganzen Bahn auslöst S
0,35	34,3	4,6	11	4	308	0	308	160
0,4	46,5	7,9	11	4	250	0	250	247
0,45	61,2	12,7	12	5	210	0	210	385
0,5	79,1	18,5	14	7	180	0	180	580
0,55	101,0	26,5	16	9	152	0	152	830
0,6	128	37	17	10	131	0	131	1150
0,65	161	49	19	12	109	2	111	1520
0,7	203	67	24	17	89	6	95	1990
0,75	260	92	29	22	70	10	80	2570
0,8	342	131	38	31	53	16	69	3310
0,85	459	185	53	46	38	21	59	4200
0,9	662	277	80	73	25	25	50	5400
0,95	1130	492	170	160	12	33	45	8600
0,99	3110	1400	1000	1000	2	39	41	26800
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Die Zahlen der Spalten 3—9 stellen statistische Mittelwerte dar.

die Fähigkeit zur Trägerbildung voll zur Geltung: sie erzeugen in der Tat eine höhere Trägerzahl, als Spalte 9 besagt. Die meisten Primärelektronen erzeugen demgegenüber eine weitaus geringere, und so ergeben sich die statistischen Mittelwerte der Spalte 9.

Besonders interessant ist es, neben Lenards Zahlenmaterial die Beobachtungen Wilsons zu stellen. Nach dessen Angaben erwies sich die Zahl der Sekundärelektronen, die ein Primärelektron pro Zentimeter seiner Bahn bildet, angenähert umgekehrt proportional dem Quadrate seiner Geschwindigkeit; betrug diese $^1/_3$ Lichtgeschwindigkeit, so erzeugte das Primärelektron längs 1 cm Bahn 83 Sekundärelektronen. Die Gesamtionisation pro Zentimeter einschließlich der gebildeten sekundären und tertiären Träger ist nach Wilson 3—4mal so groß, und zwar gilt das bis etwa $^2/_3$ Lichtgeschwindigkeit, also für den Wellenlängenbereich der Tiefentherapie. Mit Hilfe dieser Angaben läßt sich die Tabelle 28 berechnen. Sie zeigt, daß Wilsons Werte hinter denen Lenards zurück-

bleiben. Auffällig ist, daß die Zahl tertiärer Träger bei Lenard verschwindend klein ist, während sie bei Wilson etwa das 2—3fache der sekundären Trägerzahl ausmacht.

Weiter ist nach den Ergebnissen Wilsons die Bahnlänge der Primärelektronen zwischen 0,1 und 1,5 cm Länge nahezu proportional dem Quadrate ihrer Voltgeschwindigkeit. Für 21 kV. beträgt sie etwa 1 cm. Daraus kann man die Zahlen der Tabelle 29

Tabelle 28. Sekundäre und tertiäre Trägerzahl pro cm Bahn nach Lenard und nach Wilson.

Geschwindigkeit in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit	Voltgeschwindigkeit V_p in kV	Sekundäre Elektronen pro cm Bahn nach		Gesamtzahl der sekundären + tertiären Träger pro cm Bahn nach	
		Lenard	Wilson	Lenard	Wilson
0,35	34,3	308	74	308	222—296
0,40	46,5	250	56	250	170—226
0,45	61,2	210	45	210	134—178
0,50	79,1	180	36	180	108—144
0,55	101,0	152	30	152	90—120
0,60	128	131	25	131	75—100
0,65	161	109	21	111	64— 86

berechnen und sie neben diejenigen Lenards stellen. Auch hier sind Wilsons Werte kleiner als die Lenards.

Eine Erklärung für die Unterschiede zwischen den Werten beider Forscher ist vielleicht die, daß Wilson mit einem Strahlengemisch arbeitete. Seine mittlere Wellenlänge würde einer etwas niedrigeren Spannung entsprechen. Dann näherten sich die Zahlenwerte einander.

Tabelle 29. Bahnlänge von Primärelektronen nach Lenard und nach Wilson.

Geschwindigkeit in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit	Voltgeschwindigkeit V_p in kV	Bahnlänge eines Primärelektrons in cm Luft nach	
		Lenard	Wilson
0,15	5,84	0,15	0,08
0,20	10,5	0,40	0,25
0,24	15,4	0,90	0,54
0,26	18,3	1,23	0,76
0,30	24,7	2,30	1,38

2) Das Primärelektron erleidet beim Stoß einen großen Geschwindigkeitsverlust; die kinetische Energie, die hierbei verlorengeht, tritt bei dem in diesem Falle schnellen Sekundärelektron auf: es hat eine Gabelung der Bahn stattgefunden. Dieser Fall ist sehr selten im Vergleich zu Fall 1. Nach Wilsons Untersuchungen kamen unter gleichen Bedingungen auf 1000 Zusammenstöße mit kleinem Geschwindigkeits-verlust (Fall 1) nur 1,4 Gabelungen (Fall 2).

3) Es kann der unter 2, a, β besprochene Bremsvorgang nach Wilsons Untersuchungen mit der Befreiung eines Sekundärelektrons verbunden sein; dies geschieht indessen nicht immer. Im Vergleich zu der großen Zahl sekundärer und tertiärer Träger, die nach Tabelle 27 ein Primärelektron bildet, ist die Zahl der beim Bremsvorgange erzeugten Sekundärelektronen so klein, daß wir sie nicht zu berücksichtigen brauchen.

Fall 2 ist ebenfalls so selten, daß er nicht ins Gewicht fällt. Für die quantitative Betrachtung des Ionisationsvorganges kommt also nur Fall 1 der Trägerbildung bei geringem Geschwindigkeitsverluste des Primärelektrons in Frage.

Dennoch ist es nur ein geringer Bruchteil der Energie der Primärelektronen, der durch die Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen gemessen wird. Bei Primärelektronen von

10,5 bzw. 79,1 bzw. 203 kV.-Geschwindigkeit werden nach Lenards Untersuchungen 98 bzw. 90 bzw. 83 % ihrer Energie auf einem unbekannten, indirekten Vorgang in Wärmeenergie umgesetzt, und nur 2 bzw. 10 bzw. 17 % ihrer Energie steht für den Ionisationsvorgang zur Verfügung. Der Fall liegt eben so: die Wärmeenergie, die von Röntgenstrahlen auf dem Umwege über die Primärelektronen erzeugt wird, ist so gering, daß wir sie mit unseren heutigen Mitteln der Wärmemeßtechnik nur mit Schwierigkeiten nachzuweisen vermögen. Demgegenüber reichen unsere elektrischen Meßmethoden sehr wohl aus, um die Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen zu erfassen, obgleich jene nur von einem weitaus kleineren Prozentsatz der Röntgenenergie ausgelöst wird.

Sechstes Kapitel.

Einfluß von Gestalt und Material der Ionisationskammer auf die gemessene Trägerzahl.

1. Große Kammer und Fingerhutkammer.

In Abb. 2 ist eine Anordnung zur Ionisationsmessung schematisch dargestellt. Ein schmales Röntgenstrahlbündel ionisiert den Luftraum zwischen 2 Platten C, zwischen denen eine Spannungsdifferenz aufrechterhalten wird, welche ausreicht, um alle in der Zeiteinheit gebildeten Träger fortzuschaffen, ehe sie sich durch Diffusion und Rekombination der Messung entziehen können: es herrscht Sättigung, und diese Sättigung wollen wir bei unseren weiteren Betrachtungen stets voraussetzen. Die die Platten C umgebende Ionisationskammer ist in Abb. 2 weggelassen.

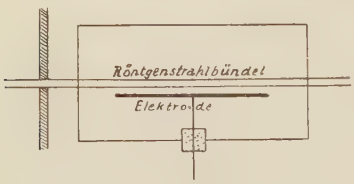


Abb. 18.
Große Ionisationskammer.

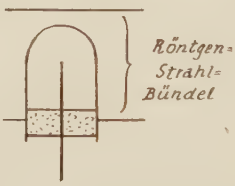


Abb. 19.
Fingerhutkammer.

Die der praktischen Ionisationsmessung dienenden Kammern besitzen meist andere Formen. Die beiden gebräuchlichsten sind die in Abb. 18 und 19 dargestellten.

Die „große Ionisationskammer“ (Abb. 18) besteht im allgemeinen aus einem zylindrischen Gefäß aus leitendem Material. Ein schmales Röntgenstrahlbündel kann diese zylindrische Kammer axial oder axenparallel durchsetzen. Eine axenparallele oder axiale Elektrode ist isoliert in die Zylinderkammer eingeführt und so angeordnet, daß sie von dem Röntgenstrahlbündel nicht getroffen wird. Zwischen der Kammer und der Elektrode wird eine für Sättigung hinreichende Spannung aufrechterhalten, und die unter ihrem Einfluß auf die Elektrode getriebenen Träger gelangen nach irgend einem Verfahren zur Messung.

Die „Fingerhutkammer“ (Abb. 19) besitzt nur einen oder nur wenige Kubikzentimeter Rauminhalt. Sie wird gebildet aus einem allseitig geschlossenen, fingerhutförmigen Gefäß aus leitendem Material, in das isoliert die kleine Elektrode eingeführt ist. Die Fingerhutkammer wird in ein Röntgenstrahlbündel gebracht, dessen Querschnitt größer ist als ihr eigener, so daß ihr ganzer Rauminhalt den Röntgenstrahlen ausgesetzt ist.

2. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag.

Die durch die Wirkung der Röntgenstrahlen in einer Kammer erzeugte Ionisation wird durch zwei Effekte beeinflußt, die wir mit Becker und Holthusen als „Wirkungsausfall" und „Wandwirkungsbeitrag" bezeichnen wollen.

A. Der Wirkungsausfall. Wie wir im V. Kapitel sahen, nimmt die Voltgeschwindigkeit und damit auch die Bahnlänge eines Primärelektrons in Luft mit der Härte der Röntgenstrahlung, die es aus seinem Atomverbande losriß, zu, und jedes solches Primärelektron besitzt, entsprechend der Härte der Röntgenstrahlen, eine ganz bestimmte Bahnlänge, auf der es, im Mittel, eine ganz bestimmte Anzahl sekundärer und tertiärer Elektronen auslöst. Fällt ein schmales Bündel weicher Röntgenstrahlung beispielsweise durch eine große Ionisationskammer, so werden die Bahnen der von ihm erzeugten Primärelektronen in verhältnismäßig großer Entfernung von den Kammerwänden ihr Ende finden. Steigern wir aber die Härte der Röntgenstrahlen, so nähern sich die Bahnenden den Wandungen der Kammer, diese mehr und mehr ausfüllend. Bei weiterer Abnahme der Wellenlänge der Röntgenstrahlen wird schließlich der Fall eintreten, daß die Bahnen der Primärelektronen durch die Kammerwände ein vorzeitiges Ende erfahren. Unterhalb dieser kritischen Härte der Röntgenstrahlen werden die Primärelektronen vollkommen zur Trägerbildung ausgenutzt, während ihre Fähigkeit, zu ionisieren, oberhalb dieser kritischen Härte durch den Wandwirkungsausfall zum Teil unausgenutzt bleibt.

Tabelle 30. Ionisation am Iontoquantimeter und am Dessauer-Elektroskop durch verschieden harte Röntgenstrahlen nach Grebe und Martius.

Strahlung	Filter	Halbwertschichten in mm Al	Iontoquantimeter = 1	Elektroskop
1	7 mm Al	4,7	1:	0,70
2	0,5 Zn + 1 mm Al	7,9	1:	0,77
3	0,5 Zn + 1 mm Al	10,8	1:	0,92
4	1 Zn + 1 mm Al	13,8	1:	1,04

Welches diese kritische Härte der Röntgenstrahlung ist, hängt bei einer Kammer mit Luftfüllung allein von deren Ausmaßen ab. Es leuchtet ein, daß bei einer Fingerhutkammer mit ihren kleinen Abmessungen der Wandwirkungsausfall schon bei sehr weichen Röntgenstrahlen in Erscheinung treten muß, während er sich bei einer großen Kammer erst bei wesentlich härteren Strahlen fühlbar macht. Infolgedessen muß das Verhältnis der Ionisation, die man mit einer kleinen und einer großen Kammer mißt, von der Härte der Röntgenstrahlen abhängig sein; und zwar muß die mit Hilfe einer großen Kammer gemessene Ionisation bei harten Strahlen verhältnismäßig größer sein als die mit einer Fingerhutkammer gemessene. So verglichen Grebe und Martius die Angaben einer großen Kammer nach Dessauer von etwa 100 ccm Inhalt mit denen einer kleinen Fingerhutkammer nach Friedrich von etwa 2 ccm Inhalt bei Röntgenstrahlen verschiedener Härte. Setzt man in jedem Falle die Ionisation in der Fingerhutkammer gleich 1, so zeigen ihre Ergebnisse, wie Tabelle 30 lehrt, die erwartete relative Zunahme der Ionisation am großen Dessauer-Elektroskop mit Abnehmen der Wellenlänge.

B. Der Wandwirkungsbeitrag. Welches die Gestalt der Ionisationskammer auch sein mag, stets wird es eine Stelle geben, an der die Röntgenstrahlung bei ihrem Eintritt, und stets eine andere Stelle, an der sie bei ihrem Austritt die Wandung der Ionisationskammer durchsetzt. Nun sahen wir im I. Kapitel, daß nach den Messungen von Berg

und Ellinger die Ionisationswirkung einerseits mit der Stellenzahl des durchstrahlten Elements, anderseits mit der Härte der Röntgenstrahlung zunimmt. Stellen wir also die Ionisationskammer aus einem Element her, dessen Stellenzahl höher ist als der Mittelwert der Stellenzahlen derjenigen Elemente, aus denen sich die Luft zusammensetzt, so kann an der Ein- und Austrittsstelle der Röntgenstrahlen eine Ionisation an den Kammerwänden ausgelöst werden, die mit der Ionisation am Luftvolumen vergleichbar ist oder diese gar übersteigt. Diesen Anteil der Gesamtionisation bezeichnen wir als Wandwirkungsbeitrag. Nach Untersuchungen von Holthusen, auf die wir weiter unten näher eingehen, nimmt dieser Wandwirkungsbeitrag, verglichen mit der Ionisation an Luft, mit der Härte der Röntgenstrahlen beträchtlich zu. Im allgemeinen werden sich dieser Wandwirkungsbeitrag und der Wirkungsausfall überlagern, und zwar in der Regel im entgegengesetzten Sinne. Friedrich und Glasser haben bei verschiedenen Wellenlängen die Ionisationen miteinander verglichen, die sie erhielten, wenn sie einerseits eine große Kammer aus graphitiertem Karton benutzten, andererseits eine Büffelhornkammer von 1 mm Wandstärke und etwa 2 ccm Inhalt, oder eine Würfelkammer von 1 ccm Inhalt aus $^1/_{20}$ mm dickem, innen graphitiertem Papier, oder eine Aluminiumfingerhutkammer von 1 ccm Inhalt und $^1/_{10}$ mm Wandstärke. Ihre Ergebnisse sind in Abb. 20 dargestellt. Sie zeigen, daß die 3 Fingerhutkammern, verglichen mit der großen Kammer, keineswegs denselben Gang mit der Wellenlänge aufweisen. Uns interessiert hier vor allem der Unterschied in den Angaben der 3 Fingerhutkammern untereinander. Setzt man die bei 0,16 Å gemessene Ionisation in jedem Falle gleich 1, so zeigt bei 0,25 Å die Aluminiumkammer 1,82mal so starke Ionisation wie die Hornkammer und 1,34mal so starke wie die Graphitkammer; bei 0,43 Å ist die Ionisation an der Aluminiumkammer sogar 2,76mal so groß wie bei der Hornkammer, während sie nur noch 1,09mal so stark ist wie an der Graphitkammer. Inwiefern sich hier der Wirkungsausfall und der Wandwirkungsbeitrag kompensieren, ist quantitativ schwer zu beurteilen. Das Ergebnis von Friedrich und Glasser ist aber deshalb von Tragweite, weil, wie wir im XV. Kapitel sehen werden, 3 der gebräuchlichsten Dosimetergeräte Fingerhutkammern aus dem hier untersuchten Material benutzen, und weil das Ergebnis lehrt, daß sich die Messungen mit diesen Geräten nur dann vergleichen lassen, wenn sie mit Röntgenstrahlen derselben Härte ausgeführt werden, daß ein Vergleich solcher Messungen aber im Einzelfalle zu Dosisfehlern von 176% führen kann, wenn man den von Friedrich und Glasser festgestellten Gang der Empfindlichkeit mit der Wellenlänge übersieht.

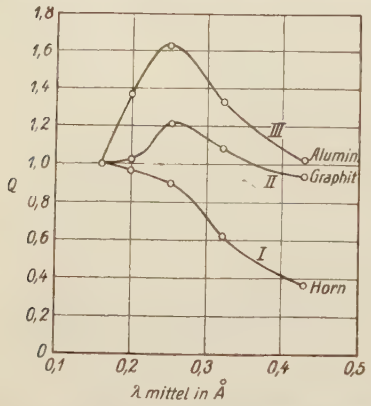


Abb. 20. Ionisation für verschiedene Wellenlängen an Fingerhutkammern verschiedener Ausführungen nach Friedrich und Glasser.

3. Quantitative Untersuchung von Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag.

Becker und Holthusen haben den Wirkungsausfall und den Wandwirkungsbeitrag eingehend theoretisch und experimentell untersucht. Besonders einfache Verhältnisse liefert in beiden Fällen eine Zylinderkammer, die von einem schmalen Röntgenstrahlbündel axial durchsetzt wird. Ein Einfluß seitlicher Wandteile auf die Trägererzeugung

ist dann ausgeschlossen, solange die Härte der Röntgenstrahlen nicht jenen kritischen Wert übersteigt, bei dem die Bahnlänge B der Primärelektronen größer wird als der Zylinderradius. Bei unseren folgenden Betrachtungen möge der Kammerradius so groß sein, daß diese Bedingung stets erfüllt ist. Die Zylinderwandungen sind dann ohne Einfluß und bedürfen keiner weiteren Berücksichtigung. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag müssen alsdann nur noch für die Stirnflächen untersucht werden, durch die das schmale Röntgenstrahlbündel ein- und austritt.

A. Wirkungsausfall bei zweiseitiger Begrenzung. Ist L der Abstand der beiden Stirnwände des Zylinders, so sind 3 Fälle zu unterscheiden:

a) $L > 2\,B$ (Abb. 21). Man kann alsdann den ganzen Gasraum in 3 Schichten zerlegen, nämlich in 2 den Stirnflächen vorgelagerte Schichten von der Dicke B der Bahnlänge der Primärelektronen und in den bleibenden Zwischenabschnitt der Länge $L - 2\,B$. Der letztere ist dadurch ausgezeichnet, daß alle längs des Röntgenstrahls in ihm ausgelösten Primärelektronen in ihrer Ausbreitung allseitig unbeschränkt sind und zur Trägerbildung also voll ausgenutzt werden. Es ist dies das Gebiet der reinen Gaswirkung. In den beiden Endabschnitten tritt dagegen für alle innerhalb derselben liegende Emissionszentren ein Wirkungsausfall ein, da es für jedes derselben eine Anzahl Richtungen gibt, in denen die Elektronenbahnen auf die Stirnfläche treffen.

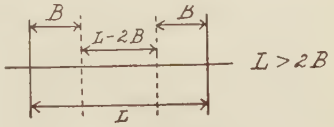


Abb. 21. $L > 2\,B$.

b) $2\,B > L > B$ (Abb. 22). Keinem Emissionszentrum im Gas kommt jetzt noch Vollwirkung zu.

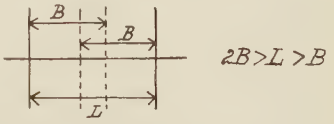


Abb. 22. $2\,B > L > B$.

c) $L < B$ (Abb. 23). Jedes Emissionszentrum erleidet beiderseitigen Wirkungsausfall. Dieser Fall tritt auch in langen Ionisationskammern bei sehr harten Röntgenstrahlen und bei γ-Strahlen ein.

Abb. 23. $L < B$.

Die Tabelle 31 gibt ein Zahlenbeispiel für $B = 10$ cm und Primärelektronen von etwa $^1/_2$ Lichtgeschwindigkeit. Der Wirkungsausfall ist in Bruchteilen der Vollwirkung berechnet. Man sieht, daß bei einer sehr langen Kammer der Wirkungsausfall nur 1 % der Vollwirkung ausmacht, während er bei einer sehr kurzen Kammer über die Hälfte der Vollwirkung betragen kann.

Tabelle 31. Wirkungsausfall : Vollwirkung für Ionisationskammern verschiedener Länge L bei Primärelektronen von $^1/_2$ Lichtgeschwindigkeit nach Becker und Holthusen.

Kammerlänge in cm	1	2	4	10	20	50	100
Wirkungsausfall / Vollwirkung	0,55	0,39	0,23	0,11	0,052	0,021	0,010

B. Wirkungsbeitrag der Wandstrahlung. Wie wir im V. Kapitel sahen, ist die kinetische Energie, mit der ein befreites Planetenelektron die Atomperipherie verläßt, gleich der Differenz der Energie des auslösenden Röntgenstrahlenquants und der Abtrennungsarbeit A; es gilt:

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = h \cdot \nu - A\,. \qquad (23)$$

Solange die Stellenzahl des getroffenen Elementes niedrig und die Wellenlänge der Röntgenstrahlen nicht sehr groß ist, ist A gegen hν verschwindend klein und wir dürfen, ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen, für obige Gleichung (23) schreiben:

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 \backsim h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}. \tag{37}$$

Die kinetische Energie und damit die Geschwindigkeit eines Elektrons hängt also nur von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen, nicht aber vom Element ab, das die Primärelektronen abgibt, solange dieses leichtatomig und die Röntgenstrahlung nicht zu weich ist. Bei Durchgang von Röntgenstrahlen durch feste Materie werden die Elektronen zum größten Teil im Innern derselben aus dem Atomverbande gerissen und sind daher sehr häufigen Zusammenstößen mit den dichtbenachbarten Atomen ausgesetzt. Hierbei wird ein Teil derselben abgefangen und scheidet aus. Diejenigen aber, die die Oberfläche verlassen, tun dies mit einer im allgemeinen nicht stark verminderten Geschwindigkeit. Die „Intensität J der Kathodenstrahlen", d. h. die Zahl der Elektronen, die in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit tritt, erleidet also bei dem Durchgang durch Materie, ebensogut wie die Röntgenstrahlen, Absorption, und auch für sie gilt die Beziehung

$$J = J_0 \cdot e^{-\alpha d}, \tag{38}$$

worin α der Absorptionskoeffizient der Elektronen ist. Durch Lenards grundlegende Untersuchungen wissen wir, daß dieser proportional der Dichte ρ des absorbierenden Mediums ist. Die wirksamen Oberflächenschichten, d. h. diejenigen Schichtdicken, aus denen noch Elektronen in nennenswerter Zahl entweichen, verhalten sich also bei verschiedenen Körpern umgekehrt wie die Dichten. Würde die Absorption der Röntgenstrahlen allein der Dichte proportional sein, so wäre die Oberflächenstrahlung an Elektronen bei allen Elementen und Verbindungen gleich groß. Nun sahen wir aber im II. Kapitel, daß für Röntgenstrahlen der Absorptionskoeffizient pro Masseneinheit $\frac{\mu}{\rho}$ nach Gleichung (5):

$$\frac{\mu}{\rho} = \text{konstans} \cdot Z^3 \cdot \lambda^3, \tag{39}$$

der Absorptionskoeffizient μ also

$$\mu = \text{konstans} \cdot \rho \cdot Z^3 \cdot \lambda^3 \tag{40}$$

ist. Außer der Proportionalität mit der Dichte ρ besteht also noch solche mit der 3. Potenz der Stellenzahl Z des absorbierenden Mediums und der Wellenlänge λ. Im gleichen Maße müssen sich die Intensitäten der von Wandstrahlungen herrührenden Elektronen voneinander unterscheiden: sie müssen also dem Absorptionskoeffizienten pro Masseneinheit $\frac{\mu}{\rho}$ proportional sein, und für dieselbe Wellenlänge der Röntgenstrahlen müssen sie sich bei verschiedenen Elementen wie die 3. Potenz der Stellenzahl verhalten.

Diese Überlegung ermöglicht es, die Größe der Wandstrahlung zu bestimmen. Wird die vordere und hintere Stirnfläche der Kammer einmal aus dünnem Aluminiumblech, das andere Mal aus Papier hergestellt, und bedeuten W den Anteil der Wandstrahlung, L denjenigen der Luftstrahlung an der Gesamtionisation, so beträgt die letztere bei Verwendung von

$$\left.\begin{aligned} &\text{Papier:} && G_P = L + W \\ &\text{Aluminium} && G_{Al} = L + q \cdot W, \end{aligned}\right\} \tag{41}$$

wobei q das berechenbare Verhältnis der Massenabsorptionskoeffizienten von Aluminium und Papier ist. Durch Messung von G_P und G_{Al} läßt sich dann aus diesen beiden Gleichungen der Wert der Unbekannten L und W bestimmen.

In derselben Weise kann man Aluminium und Paraffin, für harte Strahlen auch Kupfer, kurz alle Substanzen miteinander vergleichen, deren Atome in dem untersuchten Wellenlängenbereich keine charakteristische Röntgenstrahlung aussenden. Werden zunächst beide Stirnflächen aus Paraffin hergestellt und dann abwechselnd die vordere und die hintere durch ein dünnes Aluminium- oder Kupferblech ersetzt, so läßt sich feststellen, ob die Strahlung von der Vorder- und Hinterwand gleich groß ist. In diesem Falle setzt sich W aus W_v und W_h zusammen und man erhält drei Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} G_P &= L + W_v + W_h \\ G_{P,Al} &= L + W_v + q \cdot W_h \\ G_{Al,P} &= L + q \cdot W_v + W_h , \end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

aus denen L, W_v und W_h berechnet werden können.

Holthusen hat nach diesem von ihm angegebenen Verfahren den Wirkungsbeitrag der Wandstrahlung experimentell untersucht. Seine Ergebnisse zeigt Tabelle 32. Spalte 1 gibt die Stoffe an, die als Stirnwandungen dienten. Für diese berechnete Holthusen mit Hilfe der Formel (39) die Absorptionskoeffizienten pro Masseneinheit. Ihre Relativwerte, bezogen auf Paraffin, gibt Spalte 2. Gemessen wurden die Werte der Spalte 6. Daraus wurden für die verschiedenen Substanzen nach Formel (41) W und L berechnet. Die Ergebnisse sind in Spalte 3 und 4 mitgeteilt. Die Werte der Spalte 5 stellen dann die aus diesen Zahlen errechneten Beträge von $G = q \cdot W + L$ für die verschiedenen Substanzen der Spalte 1 dar. Die Tabelle zeigt eine gute Übereinstimmung der beobachteten und nach Formel (41) berechneten Werte der Gesamtionisation bei Paraffin, Karton (Zellulose), Aluminium und Kupfer. Dabei verhalten sich die Wandstrahlungen von Paraffin und Kupfer wie 1 : 120.

Tabelle 32. Relatives Emissionsvermögen verschiedenen Materials für Röntgenelektronen nach Holthusen.

1	2	3	4	5	6
Substanz	Relatives Emissionsvermögen für Elektronen	W berechnet	L berechnet	G berechnet	G beobachtet
Paraffin	1	0,0235	0,195	0,218	0,214
Papier	2,16	0,051	0,195	0,246	0,264
Aluminium	11,5	0,269	0,195	0,464	0,468
Kupfer (Hinterwand)	120	0,91	0,195	1,10	1,14
Kupfer (Vorderwand)	120	1,91	0,195	2,10	2,07

In entsprechender Weise hat Holthusen die Elektronenemission der vorderen und hinteren Stirnwand experimentell miteinander verglichen. Tabelle 33 zeigt das Ergebnis für Aluminium. Aus Spalte 8 geht hervor, daß der Wandwirkungsbeitrag der vorderen Stirnwand bei weichen Strahlen 1,4-, bei harten 2,0mal so groß ist als der der hinteren.

Holthusen hat auch den Wandwirkungsbeitrag von Paraffin und Aluminium in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgensrtahlen untersucht. In der Tabelle 34 wurden die Werte der 4. und 5. Spalte beobachtet und daraus nach Formel (41) W und L berechnet. Durch geeignete Wahl von Spannung und Filterung wurden Strahlen-

Tabelle 33. Verhältnis der Einfalls- und Austrittsstrahlen.

1	2	3	4	5	6	7	8
Härteeinstellung an der Maschine und Filter	Qualität	Gemessene Ionisation bei Papierfenster vorn und hinten	Aluminium-Vorderfenster	Aluminium-Hinterfenster	W_v	W_h	W_v/W_h
1	inhomogen weich	0,377	0,458	0,436	0,100	0,073	1,4
5 1 mm-Aluminiumfilter	inhomogen mittelhart	0,622	0,828	0,749	0,254	0,155	1,6
10 5 mm-Aluminiumfilter	inhomogen hart	0,675	0,989	0,848	0,38	0,213	1,8
10 10 mm-Aluminiumfilter	Halbwertschicht 6 mm Aluminium	0,305	0,451	0,382	0,18	0,095	1,9
10 0,46 mm-Kupferfilter	Halbwertschicht 8 mm Aluminium	0,262	0,414	0,339	0,187	0,089	2,0

gemische verschiedener Härte hergestellt, deren Halbwertschicht in mm-Aluminium Spalte 2 angibt. Wie Spalte 8 lehrt, ist der Gesamtwandeffekt für das härteste Strahlengemisch bei Aluminium etwas mehr als siebenmal so groß, wie die von diesem Bündel

Tabelle 34. Zunahme der Wandstrahlung mit der Härte.

1	2	3	4	5	6	7	8
Härteeinstellung an der Maschine und Filter	Halbwertschicht in mm Aluminium	$\frac{\bar{\mu}}{\rho}$	Gemessene Ionisation Paraffin	Aluminium	W_{Al}	L pro cm	$\frac{W_{Al}}{L}$
1 u. 1 mm Aluminium	1,1	2,19	0,0842	0,182	0,048	0,033	1,44
3 u. 2 „ „	1,4	1,68	0,128	0,216	0,097	0,050	1,9
4 u. 4 „ „	2,3	0,94	0,0779	0,161	0,091	0,029	3,15
6 u. 6 „ „	2,8	0,74	0,0888	0,225	0,15	0,0313	4,8
8 u. 0,46 mm Kupfer	6,0	0,24	0,0727	0,224	0,166	0,024	6,9
10 u. 0,46 „ „	8,0	0,18	0,182	0,569	0,426	0,060	7,1

auf einer Luftstrecke von 1 cm hervorgerufene Luftionisation. Auch zeigt Spalte 8 für die untersuchten Strahlengemische ein Ansteigen des Wandwirkungsbeitrags mit der Härte der Röntgenstrahlen auf mehr als das Fünffache.

4. Kompensation des Wirkungsausfalls durch den Wandwirkungsbeitrag.

Die Herstellung dieser Kompensation durch geeignetes Wandmaterial hat den besonderen Wert, daß der Meßraum als nicht von Wänden begrenzt und daß das Meßergebnis daher als reine Gaswirkung angesehen werden kann. Becker und Holthusen haben diese Frage eingehend theoretisch und experimentell untersucht. Sie bedienten sich einer Zylinderkammer, deren Länge durch einen einschiebbaren Deckel verändert werden konnte, während gleichzeitig die stabförmige Innenelektrode ausgewechselt wurde. Der Durchmesser der Kammer betrug 20 cm, ihre Länge wurde im allgemeinen zwischen 2,7 und 10 cm verändert. Außerdem wurden in den getrennten Versuchsreihen die Stirnwände und die Härte des Röntgenstrahlbündels variiert, welches jene axial

Tabelle 35. Abhängigkeit der Trägerzahl von der Strahllänge bei verschiedenem Wandmaterial nach Becker und Holthusen.

Wände: Aluminium 0,1 mm dick			Papier[1]) 1 mm dick			Paraffin[1]) 2 mm dick		
Länge L cm	Rel. Trägerzahl Σ	Σ/L	L cm	Σ	Σ/L	L cm	Σ	Σ/L
1. Strahlfilter 0,5 mm Aluminium, mittlere Wellenlänge 0,74 Å.E., mittlere Wirkungsweite in Luft R = 0,83 cm								
2,7	3,42	1,13	2,4	2,70	1,13	2,8	3,63	1,30
4,3	5,50	1,27	8,8	9,83	1,12	8,8	11,10	1,27
10,1	12,31	1,21						
2. Strahlfilter 0,4 mm Kupfer, $\lambda_{mittel} = 0{,}3$ Å.E., $R_{mittel} = 3{,}5$ cm								
2,7	1,75	0,65	2,4	0,98	0,40	2,8	1,34	0,48
4,3	2,71	0,63	8,8	3,35	0,38	8,8	4,21	0,48
10,1	4,44	0,44						
3. Strahlfilter 1 mm Kupfer, $\lambda_{mittel} = 0{,}21$ Å.E., $R_{mittel} = 9{,}7$ cm								
2,7	2,12	0,78	2,4	1,18	0,49	2,8	1,59	0,57
4,3	3,14	0,73	8,8	3,87	0,44	8,8	4,90	0,56
10,1	5,22	0,52						

durchsetzte. Die Angabe des mit der Innenelektrode verbundenen Elektrometers ist ein relatives Maß für die erzeugte Trägerzahl Σ. Kompensation ist dann erreicht, wenn sich das Verhältnis Σ/L von der Länge der Ionisationskammer als unabhängig erweist.

Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse. Die in dieser mitgeteilten Zahlenwerte sind nur innerhalb jeder zusammenhängenden Versuchsreihe untereinander vergleichbar, da die äußeren Bedingungen der verschiedenen Versuchsreihen nicht immer konstant gehalten waren.

Bei der weichsten Röntgenstrahlung ist die auf die Längeneinheit des Strahlweges bezogene Trägerzahl in allen Fällen von L nahezu unabhängig. Da hier die benutzten Wandabstände alle erheblich größer sind als der mittlere Radius des Wirkungsbereiches der auftretenden Elektronen, so ist dieses Ergebnis nicht wunderbar.

Bei den härteren Röntgenstrahlen nimmt Σ/L für Aluminiumwände mit wachsendem L erheblich ab, was bei dem starken Wandwirkungsbeitrag, den Holthusen bei Aluminium und harter Röntgenstrahlung fand (Tabelle 34), leicht erklärlich ist.

Bei Papier tritt der Gang von Σ/L sehr stark zurück, und bei Paraffin ist er vollständig beseitigt. Hier zeigt sich also die Kompensation zwischen Wandwirkungsbeitrag und Gaswirkungsausfall, und zwar ist diese, wie der Versuch lehrt, von der Härte der Röntgenstrahlung und daher von der ihr auch entsprechenden Geschwindigkeit der Primärelektronen unabhängig.

5. Mechanische Ausschaltung von Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag.

Diese läßt sich ebenfalls dann durch Wahl geeigneter Hilfselektroden erreichen, wenn die Härte der Röntgenstrahlung den kritischen Wert nicht überschreitet, bei dem die Bahnlänge der Primärelektronen größer wird als der Kammerradius. Sie gelangte zur

[1]) Papier und Paraffin wurden mit einer dünnen Graphitschicht bedeckt.

Anwendung bei den Druckluftkammern von Behnken und von Berg, Schwerdtfeger und Thaller, auf die wir im VII. Kapitel näher eingehen werden. Der Raum der Zylinderkammer wird in drei Teile geteilt (Abb. 24): den Stirnwandungen ist je eine Schicht vorgelagert, deren Dicke gleich dem Kammerradius R ist. In jeder derselben befindet sich eine Hilfselektrode H. Diese bilden die Verlängerung der mit dem Meßinstrument verbundenen Elektrode M, die sich in der mittleren Schicht der Kammer befindet, deren Dicke L — 2 R beträgt. Die Hilfselektroden H liegen stets an derselben Spannung wie die Meßelektrode M, so daß das elektrische Feld zwischen der Kammerwandung und den drei Elektroden an den Übergangsstellen zwischen M und H keine Unstetigkeit aufweist. Durchsetzt ein schmales Röntgenstrahlbündel die Kammer axial, so wird bei seinem Ein- und Austritt an den Stirnflächen ein Wandwirkungsbeitrag ausgelöst. Dieser kommt aber deshalb nicht mit zur Messung, weil die von den Stirnflächen emittierten Elektronen keine größere Geschwindigkeit und deshalb auch keine größere Bahnlänge besitzen, als die an Luft ausgelösten Primärelektronen. Die Elektronen des Wandwirkungsbeitrages gelangen deshalb allein auf die Hilfselektroden H. Anderseits macht sich bei dieser Anordnung auch kein Wirkungsausfall bemerkbar. Zwar wird eine Anzahl derjenigen Elektronenbahnen, die das Röntgenstrahlbündel in dem mittleren Abschnitt der Länge L — 2 R primär auslöst, vermöge ihrer schrägen Richtung in die den Stirnwandungen vorgelagerten Schichten entweichen, und ihre Sekundärelektronen werden auf die Hilfselektroden H gelangen. Wie eine einfache Überlegung zeigt, werden aber ebenso viel Primärelektronen wie diejenigen, die aus dem Mittelgebiet in das rechte Seitengebiet abwandern, aus dem linken Seitengebiet in das Mittelgebiet zuwandern und umgekehrt. Und zwar gilt diese Kompensation auch dann, wenn die von den Röntgenstrahlen ausgelösten Primärelektronen vorzugsweise eine Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Röntgenstrahlen besitzen, wie dies aus den Nebelaufnahmen von Wilson hervorgeht (Tabelle 21). Denn die Abwanderung der zahlreicheren Elektronen mit Vorwärtskomponente kompensiert sich durch Zuwanderung ebenso vieler gleichartiger, und die Abwanderung der selteneren mit Rückwärtskomponente kompensiert sich durch eben diese.

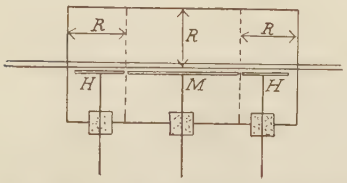


Abb. 24. Große Ionisationskammer mit Schutzelektroden.

6. Der Einfluß der Streustrahlung.

Der Einfluß der Streustrahlen kann ein doppelter sein. Einerseits ist, wie wir im III. Kapitel sahen, mit der Streuung an freien Elektronen ein Ionisationsvorgang verbunden. Auf diesen Einfluß gingen wir schon im III. Kapitel näher ein. Anderseits wird aber auch die in der Kammer gestreute Strahlung, sei sie an freien oder gebundenen Elektronen gestreut, absorbiert werden und daher zur Gesamtionisation beitragen. Diesen Einfluß wollen wir hier näher betrachten. Er wird sich auf zweierlei Art äußern: bei der Absorption der gestreuten Strahlung im Gas und bei der an den Kammerwandungen.

a) Beitrag der in der Luft absorbierten Streustrahlung zur Gesamtionisation.

Wir dürfen davon absehen, daß ein Teil der gestreuten Strahlung durch Streuung an freien Elektronen weicher geworden ist: da diese Wellenlängenänderung nur sehr klein ist, dürfen wir so rechnen, als bliebe die Härte der Röntgenstrahlen beim Streuvorgange ungeändert. Für Röntgenstrahlen derselben Wellenlänge ist die Ionisation der absorbierten Energie proportional, wie wir im VIII. Kapitel sehen werden. Um also

den Beitrag der in der Luft absorbierten gestreuten Strahlung zur Gesamtionisation festzustellen, müssen wir das Verhältnis von absorbierter gestreuter zur absorbierten Primärstrahlung berechnen.

Wir wollen zunächst eine Vereinfachung des in den Gleichungen (10) und (11) auftretenden Kammerwertes $(1 - e^{-\mu d})$ vornehmen, was dann zulässig ist, wenn der Exponent einen kleinen Zahlenwert besitzt. Wie die Tabelle 4 lehrt, gilt für kleine Werte von $x = \mu d$ sehr angenähert die Beziehung:

$$1 - e^{-\mu d} \sim \mu d . \tag{43}$$

Für kleine Werte von μd gehen also die Gleichungen (10) und (11) über in

$$J_A \sim \frac{A \cdot \lambda^3}{\frac{\mu}{\rho}} \cdot \mu d \cdot J_0 = A \lambda^3 \rho \cdot d \cdot J_0 = \bar{\mu} \cdot d \cdot J_0 \tag{44}$$

und

$$J_\sigma \sim \sigma \cdot d \cdot J_0 . \tag{45}$$

Die absorbierte Energie ist also dem Absorptionskoeffizienten μ und die gestreute Energie ist dem Streukoeffizienten σ proportional.

Wie aus den Gleichungen (9) hervorgeht, ist der Schwächungskoeffizient μ für Luft auch bei weichen Röntgenstrahlen der Wellenlänge $\lambda = 1$ A nur etwa 0,0035, und für härtere wird er noch kleiner. Setzen wir die Länge der Ionisationskammer zu 30 cm an, so wird μd etwa 0,1, und wie die Tabelle 4 lehrt, dürfen wir alsdann mit hinreichender Genauigkeit von unserer Vereinfachung Gebrauch machen.

Wir folgen nun einer Rechnung, die von Berg, Schwerdtfeger und Thaller durchgeführt wurde. Hat das Röntgenstrahlbündel den Querschnitt q, und ist L die Länge der Ionisationskammer, so wird längs des ganzen Strahlenweges in der Zeiteinheit die Energie

$$A = q \cdot L \cdot \bar{\mu} J_0 \tag{46}$$

absorbiert, und die Energie

$$S = q \cdot L \cdot \sigma J_0 \tag{47}$$

gestreut. Die von den einzelnen Stellen des primären Strahlenbündels ausgehenden Streustrahlen legen, je nach ihrer Richtung, sehr verschieden lange Wege zurück, bis sie die Wand der Kammer treffen. Im Mittel kann diese Weglänge bei einem Kammerdurchmesser von 20 cm auf 12 cm geschätzt werden. Dann würde für jede Einheit der gestreuten Strahlenenergie im Mittel der Betrag $12\,\bar{\mu}$ absorbiert, da wir bei der Streustrahlung mit demselben Absorptionskoeffizienten rechnen dürfen wie bei der Primärstrahlung. Der gesamte in der Zeiteinheit absorbierte Anteil der Streustrahlung ist also vermöge (44) und (47)

$$a = S \cdot 12\,\bar{\mu} = 12\,\bar{\mu} \cdot q \cdot L \cdot \sigma \cdot J_0 . \tag{48}$$

Das Verhältnis von absorbierter gestreuter zu absorbierter direkter Strahlung ist demnach

$$\frac{a}{A} = \frac{12\,\bar{\mu} \cdot q \cdot L \cdot \sigma \cdot J_0}{q \cdot L \cdot \bar{\mu} \cdot J_0} = 12\,\sigma . \tag{49}$$

Nach den Gleichungen (9) ist aber für Luft $\sigma = 0{,}00022$. Also wird

$$\frac{a}{A} = 0{,}00264 \sim 0{,}26\,\% . \tag{50}$$

Die durch die Streuung an Luft hervorgerufene zusätzliche Ionisation beträgt für eine Ionisationskammer von 20 cm Durchmesser also etwa $^1/_4\,\%$; sie darf demnach vernachlässigt werden.

Außer an der Luft wird aber auch noch beim Ein- und Austritt der Primärstrahlen an den Stirnflächen der Ionisationskammer Streustrahlung entstehen. Ihre Intensität und daher auch ihr Beitrag zur Gesamtionisation kann beträchtlich größer sein als derjenige, welcher durch die Streuung an Luft bedingt wird. Dieser Anteil läßt sich ebenfalls berechnen. Wir gehen hierzu gerade so vor wie oben.

Die in der Ionisationskammer in der Zeiteinheit absorbierte Röntgenenergie ist

$$A = q \cdot L \cdot \mu \cdot J_0 . \tag{51}$$

Die am Fenster in der Zeiteinheit gestreute Energie ist

$$S_F = q \cdot d \cdot \sigma \cdot J_0 , \tag{52}$$

wo d die Dicke des Fensters und σ der Streukoeffizient des Fenstermaterials ist. Es wird aber sowohl das Eintritts- wie das Austrittsfenster nur einen Teil der Streustrahlung ins Innere der Kammer und den anderen Teil nach außen streuen: was das Eintrittsfenster hineinstreut, streut das Austrittsfenster hinaus und umgekehrt. S_F stellt daher die Summe der von beiden Fenstern in die Kammer hineingestreuten Strahlung dar. Das Verhältnis der absorbierten, von beiden Fenstern herrührenden Streustrahlung zur absorbierten direkten Strahlung wird also

$$\frac{a}{A} = \frac{S_F}{A} \cdot L \cdot \bar{\mu} = \frac{q \cdot d \cdot \sigma \cdot J_0}{q \cdot L \cdot \bar{\mu} \cdot J_0} \cdot L \bar{\mu} = d\,\sigma . \tag{53}$$

Wie wir im II. Kapitel sahen, ist nach der Tabelle 6 für leichtatomige Substanzen $\frac{\sigma}{\rho} = 0{,}18$ oder $\sigma = 0{,}18 \cdot \rho$. Wir können demnach für die letzte Gleichung schreiben:

$$\frac{a}{A} = 0{,}18 \cdot d \cdot \rho . \tag{54}$$

Der von der Fensterstreuung herrührende Anteil der Gesamtionisation ist also der Dicke d der Fenster und der Dichte ρ des Fenstermaterials proportional.

Nehmen wir an, es sei d = 0,1 cm und die Dichte sei gleich der des Wassers $\rho = 1$, so wird

$$\frac{a}{A} = 0{,}018 = 1{,}8\,\% . \tag{55}$$

Das Verhältnis der absorbierten, von beiden Fenstern herrührenden Streustrahlung zur absorbierten direkten Strahlung beträgt in unserem Beispiel also fast 2 % und darf daher nicht ohne weiteres vernachlässigt werden.

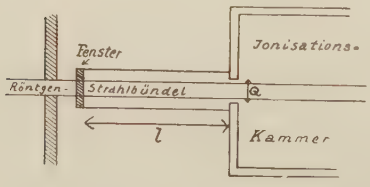


Abb. 25. Vorgeschobenes Fenster an großer Kammer nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller.

Berg, Schwerdtfeger und Thaller haben aber eine Anordnung angegeben, mit deren Hilfe es möglich ist, den Streustrahlungsbeitrag der Fenster auf einen verschwindend kleinen Bruchteil herunterzudrücken.

Sie ordnen die Fenster nicht in der Ebene der Stirnwände an, sondern am Ende je einer Röhre der Länge l (Abb. 25). An der Stelle, an der das primäre Röntgenstrahlbündel die Stirnwände durchsetzt, tritt es durch je ein Loch vom Querschnitt Q, ohne dessen Ränder zu berühren. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß nur ein kleiner Bruchteil p der gesamten Streustrahlung, die von einem Fenster ausgeht, Zutritt zu dem Meßraum findet. Nehmen wir zunächst für

eine Überschlagsrechnung an, die Streustrahlung breite sich gleichmäßig nach allen Richtungen aus, dann ist dieser Bruchteil

$$p = \frac{Q}{4 l^2 \pi}. \tag{56}$$

Setzen wir $Q = 1$ qcm und $l = 7$ cm, so wird

$$p = \frac{1}{616} = 0{,}00162. \tag{57}$$

Nun wissen wir aus den Untersuchungen von Glocker (Abb. 8), daß von leichtatomigen Substanzen der größte Teil der Streustrahlung in Primärstrahlrichtung gestreut wird. Greifen wir deshalb hoch, und setzen wir für das Fenster auf der Einfallseite der Röntgenstrahlen das Hundertfache des berechneten Wertes an, so wird für dieses Fenster allein

$$p_e = 0{,}162. \tag{58}$$

Bei Berücksichtigung dieser Richtungsverteilung der Streustrahlung müßten wir dann für das Fenster auf der Austrittseite weniger als 0,00162 in Rechnung setzen. Ein solcher kleiner Wert darf aber bei unserer Überschlagsrechnung gegen den 100mal so großen vernachlässigt werden. Dann wird also

$$p = 0{,}018 \cdot 0{,}162 = 0{,}0029 = 0{,}29\,\%. \tag{59}$$

Wir erhalten also das Ergebnis: bei der von Berg, Schwerdtfeger und Thaller angegebenen röhrenförmigen Anordnung der Kammerfenster ist der durch die an den Fenstern gestreute Strahlung hervorgerufene Beitrag zur Gesamtionisation von der Größenordnung 0,3 % und darf daher vernachlässigt werden. Werden die Fenster demgegenüber in der Ebene der Stirnflächen angeordnet, so beträgt dieser Beitrag mehrere Prozent und darf nicht vernachlässigt werden.

b) Beitrag der an den Kammerwänden absorbierten Streustrahlung zur Gesamtionisation.

Tabelle 36. Zunahme der Ionisation durch an den Kammerwänden absorbierte Streustrahlung in Prozenten der reinen Luftionisation nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller und nach Behnken.

Kammerwand aus	Kilovolt			
	+ 0,51 mm Kupferfilter			?
	122	144	150	
Papier		ca. 0,4		< 0,5
Aluminium		0,6		
Zink		4,4		
Messing				5,0
Blei	6,0	11,9	13,2	8,6
Beobachter	Berg, Schwerdtfeger und Thaller			Behnken

Dieser Einfluß ist ebenfalls von Berg, Schwerdtfeger und Thaller sowie von Behnken experimentell geprüft worden. Dieselben kleideten die Innenwandungen einer großen Ionisationskammer mit verschiedenen Elementen aus und untersuchten die Ionisation bei derselben Strahlung. Die Mittelwerte ihrer Ergebnisse zeigt Tabelle 36. Man erkennt, daß der Effekt mit der Spannung und der Stellenzahl des Mantelelements steigt. Wie diese Mittelwerte gewonnen wurden, lehre ein Beispiel. Die Kammer wurde wechselweise mit Zink und Aluminium ausgekleidet und jedesmal die Ionisation ge-

messen. Für eine bestimmte Strahlung entsprach diese bei Zink 612, bei Aluminium 587 Skalenteilen. Dann ergibt sich für die Zunahme der Ionisation beim Übergang von Aluminium- zu Zinkauskleidung:

$$\frac{\text{Zn} - \text{Al}}{\text{Al}} = \frac{612 - 587}{587} = \frac{25}{587} = 4{,}3\,\% . \tag{60}$$

In einem anderen Falle erhielten sie 3,25 %, so daß man als Mittelwert 4 % annehmen darf. Nun lehrt die Untersuchung von Berg und Ellinger über die Elektronenemission der verschiedenen Elemente (Abb. 5), daß sich diese bei Aluminium und Zink ungefähr wie 1:8 verhält. Unter Annahme dieser Zahl läßt sich berechnen, welchen Beitrag s an Ionisation das Aluminium unter dem Einfluß der Streustrahlung in Prozenten der reinen Luftionisation liefert. Nennt man die letztere i, so ist die gesamte Ionisation in der Kammer mit Aluminiumwandung i + s, in der Kammer mit Zinkwandung i + 8s. Hieraus ergibt sich

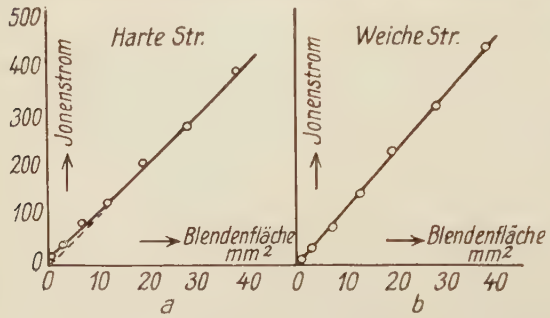


Abb. 26 und 27. Einfluß der von den Blenden ausgehenden Streustrahlung auf die Ionisation nach Behnken.

$$\frac{\text{Zn} - \text{Al}}{\text{Al}} = \text{ca. } 4\,\% = \frac{(\text{i} + 8\,\text{s}) - (\text{i} + \text{s})}{(\text{i} + \text{s})} . \tag{61}$$

Auflösung dieser Gleichung liefert

$$\frac{\text{s}}{\text{i}} = \frac{1}{174} = 0{,}57\,\% , \tag{62}$$

und hierfür ist in Tabelle 36 0,6 gesetzt.

Die Aluminiumwandung trägt also unter dem Einfluß der Streustrahlung zur Gesamtionisation wenig mehr als $^1/_2$% bei. Bei Papier ist dieser Beitrag noch geringer. Bei Papierwandungen darf er daher vernachlässigt werden.

7. Der Einfluß der Blendenstrahlung.

An der Blende, welche das Strahlenbündel begrenzt, muß ebenso wie an anderen getroffenen Medien eine Streustrahlung erzeugt werden, welche in die Kammer dringt und die gemessene Ionisation beeinflußt. Diese Störung muß desto stärker in Erscheinung treten, je größer die zylindrische Begrenzungsfläche der Blendenöffnung ist im Vergleich zum Querschnitt der Blendenöffnung selbst. Behnken führte, sowohl mit weicher wie mit harter Strahlung, Messungen bei verschiedenen Blendendurchmessern aus, deren Ergebnisse die Abb. 26 und 27 veranschaulichen. Man sieht bei der weichen Strahlung mit ihrer geringen Streuung völlige Proportionalität zwischen Ionenstrom und Blendenfläche, während diese Proportionalität bei der harten Strahlung mit ihrer relativ großen Streuung erst bei Blendenflächen von mehr als etwa 20 qmm eintritt, was einen Durchmesser von über 5 mm entspricht. Bei 7 mm Durchmesser sind keine Störungen mehr zu befürchten.

8. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag bei der Fingerhutkamera.

Bei der Fingerhutkamera werden wegen ihrer kleinen Maße im allgemeinen der Wirkungsausfall und der Wandwirkungsbeitrag groß. Aber der letztere erleidet selbst wieder einen Wirkungsausfall.

Sind die Röntgenstrahlen so hart, daß die Bahnen der von ihnen ausgelösten Primärelektronen in Luft groß gegen den Kammerdurchmesser wären, wenn sie nicht vorzeitig von den Wänden aufgehalten würden, so ist nach Versuchen von Fricke und Glasser bei Kohle- und Aluminiumkammern die Ionisation pro Volumeneinheit für eine bestimmte Strahlung unabhängig von der Kammergröße. D. h.: die Ionisation ist dem Kammervolumen proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist aber, trotz gleicher Kammerabmessungen, bei Kohle und Aluminium verschieden, ein Beweis für den verschiedenen Wandwirkungsbeitrag beider Materialien (Tabelle 37).

Tabelle 37. Ionisation pro Volumeinheit der Fingerhutkammern aus Aluminium und Kohle nach Fricke und Glasser.

Form	Ionisationskammerdimensionen		Kammervolumen	Elektrodendimensionen		Elektrodenvolumen	Kammervolumen — Elektrodenvolumen	Kohlenstoff		Aluminium	
	Länge	Durchmesser		Länge	Durchmesser			Ion.	Ion./Vol.	Ion.	Ion./Vol.
	cm	cm	ccm	cm	cm	ccm					
Zylinder	2,060	0,558	0,503	2,000	0,119	0,022	0,481	0,92	1,91	2,86	5,95
„	1,112	1,095	1,050	1,000	0,119	0,011	1,039	1,96	1,88	6,28	6,03
„	1,540	2,020	4,928	1,400	0,119	0,015	4,013	9,44	1,92	29,40	5,98
Quader	3,0	3,0 × 0,5	4,500	2,4	2,4 × 0,023	0,133	4,467	8,55	1,91	27,00	6,04

Mittlere Wellenlänge der benutzten Strahlung: λ eff. = 0,180 Å.

Die von Fricke und Glasser benutzte Strahlung hatte etwa die Wellenlänge 0,180 Å und war, wie die Absorptionsanalyse in Kupfer zeigte, gut homogen.

Den Einfluß der Gestalt der Fingerhutkammer auf die gemessene Ionisation in Abhängigkeit von der Härte des Strahlengemisches untersuchten Jaeger und Halberstaedter. Bei unveränderter Kammerhülle variierten sie zunächst die Stiftlänge. Ihre in Abb. 28 mitgeteilten Ergebnisse lehren, daß bei verschieden harter Kupferfilterung desselben Strahlengemisches die gemessene Ionisation, ausgedrückt in Prozenten der Ionisation durch die ungefilterte Strahlung, mit wachsender Stiftlänge abnimmt. In einer weiteren Versuchsreihe wurden die Stiftlänge und die Kammerlänge konstant gehalten, aber der Kammerdurchmesser verändert. Wie Abb. 29 lehrt, wächst alsdann,

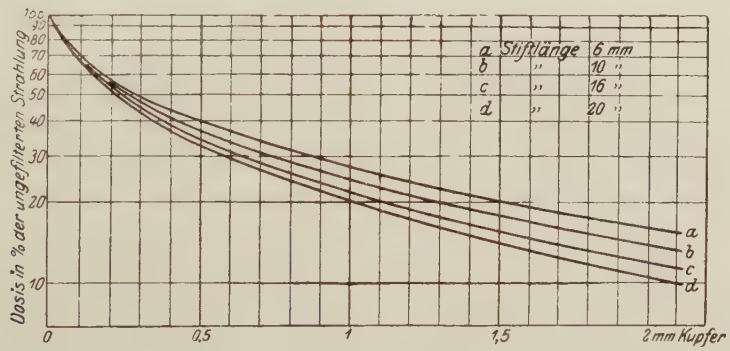


Abb. 28. Einfluß der Stiftlänge der Fingerhutkammer auf die Absorptionskurven in Luft nach Jaeger und Halberstaedter.

wie leicht erklärlich, die Ionisation mit dem Kammerdurchmesser. Schließlich wurde der Kammerdurchmesser konstant gehalten und sowohl Kammerlänge wie Stiftlänge um 12 mm vergrößert: die beiden Kurven (c) fallen alsdann zusammen. Diese Messungen zeigen deutlich die Abhängigkeit der Ionisation von den Ausmaßen der Kammerhülle und des Stiftes. Anderseits lehren die Beobachtungen aber auch, daß der Verlauf der Kurven für Strahlungen, die bereits mit 0,5 mm Kupfer vorgefiltert wurden, nahezu derselbe bleibt; d. h. für die in der Tiefentherapie gebräuchlichen Strahlengemische spielen die Ausmaße der Kammer keine ausschlaggebende Rolle, solange die Kammer aus demselben Material besteht.

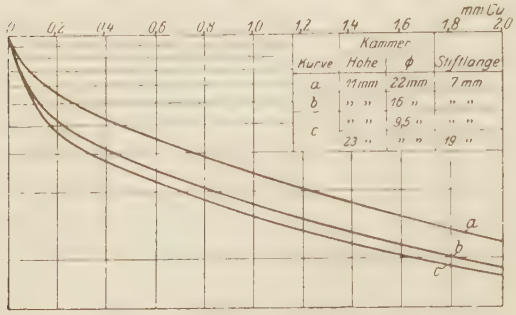


Abb. 29. Einfluß der Stiftlänge und der Größe der Fingerhutkammer auf die Absorptionskurven nach Jaeger und Halberstaedter.

Siebentes Kapitel.

Die Abhängigkeit der Ionisation vom Druck und die Messung der reinen Luftionisation in der Druckluftkammer.

Auf Grund der Untersuchungen, über die wir im letzten Kapitel berichtet haben, sind wir in der Lage, die durch Röntgenstrahlen an Luft hervorgerufene Ionisation in Reinkultur zu messen. Den Anstoß hierzu und die grundlegenden Überlegungen verdanken wir Holthusen. Er steckte sein Ziel sogar noch weiter. Er wollte die Energiemessung der Röntgenstrahlen auf reine Ionisationsmessung gründen. Diese nach dem damaligen Stande der Wissenschaft richtige Problemstellung ist durch die inzwischen erfolgte Entdeckung des Comptoneffektes indessen in Frage gestellt worden. Wir werden uns damit im VIII. Kapitel befassen. Demgegenüber haben die Arbeiten von Holthusen ebenso wie diejenigen von Berg, Schwerdtfeger und Thaller und von Behnken den Weg dazu gebahnt, die reine Luftionisation durch Röntgenstrahlen zu messen. Wir wollen hier näher auf die praktische Durchführung dieser Aufgabe eingehen.

1. Die Bedingungen für die Messung reiner Luftionisation.

Zunächst stellen wir noch einmal die Forderungen zusammen, die nach unserer Betrachtung im VI. Kapitel zur Durchführung des Problems unerläßlich sind. Sie lauten:

I. Der Radius der Ionisationskammer muß so groß sein, daß die von den Röntgenstrahlen an der Luft ausgelösten Primärelektronen nicht durch Auftreffen auf die Kammerwände ein vorzeitiges Ende finden. Den Zusammenhang zwischen Röhrenspannung und zugehöriger Bahnlänge zeigt Tabelle 27 in den Spalten 2 und 3.

II. Wirkungsausfall und Wandwirkungsbeitrag an den Stirnflächen der Zylinderkammer wirken im allgemeinen im entgegengesetzten Sinne. Man kann beide Einflüsse ausschalten, indem man entweder durch Wahl geeigneten Materials (Paraffin, Becker und Holthusen) Kompensation beider Einflüsse herbeiführt, oder, indem man den Stirnflächen je eine Schutzschicht mit Hilfselektrode vorlagert, deren Durchmesser gleich dem Kammerradius ist (Berg, Schwerdtfeger und Thaller; Behnken).

III. Die Innenwandungen der Kammer müssen aus einem leichtatomigen Material, wie Papier, Kohle oder Aluminium, bestehen, da die an den Luftmolekülen im Innern der Kammer gestreute Strahlung bei Verwendung schweratomiger Elemente an den Kammerwandungen eine Ionisation hervorruft, welche gegen die Luftionisation nicht vernachlässigt werden darf. Auch tritt bei Verwendung schwereratomiger Elemente als die genannten sprunghafte Absorption und damit verbunden deren charakteristische Strahlung und plötzliche Steigerung der Ionisation durch diese auf (I. Kapitel), wenn die Wellenlänge der zu messenden Röntgenstrahlen kurzwelliger wird als die Absorptionsbandkante der K-Serie des Wandmaterials.

IV. Die beim Ein- und Austritt der Röntgenstrahlen an den Fenstern ausgelöste Streustrahlung ruft eine merkliche Ionisation hervor. Sie läßt sich ausschalten, wenn man die Fenster an einem röhrenförmigen Ansatz anbringt.

V. Die Löcher der Bleiblenden müssen entweder einen größeren Durchmesser haben als 5 mm, oder die von ihnen ausgehende Streustrahlung muß durch besondere Schutzblenden unwirksam gemacht werden. Bei Berücksichtigung von IV. ist dies indessen überflüssig.

2. Die Ionisation in Abhängigkeit vom Luftdruck.

Wie die im 1. Kapitel besprochenen Versuche von Mc Clung lehren, ist die Ionisation dem Gasdruck proportional. Wir wollen hier die Abhängigkeit der Ionisation vom Luftdruck von sehr kleinen Drucken bis zu mehreren Atmosphären Druck verfolgen.

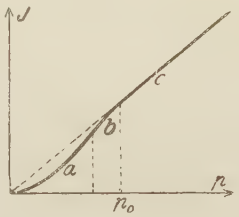


Abb. 30. Abhängigkeit der Ionisation vom Gasdruck nach Bothe.

Nehmen wir an, ein schmales Röntgenstrahlenbündel durchsetze axial eine Zylinderkammer. Die Zahl der Luftmoleküle in dem vom Röntgenstrahlbündel ausgefüllten Raum der Ionisationskammer ist dem Druck p proportional, und daher muß auch die Zahl der ausgelösten Primärelektronen dem Druck proportional sein. Anderseits ist aber die Bahnlänge der Primärelektronen umgekehrt proportional dem Druck. Ist der Druck so hoch, daß die Bahnlänge der Primärelektronen kein vorzeitiges Ende durch die Kammerwandungen findet, so wird ihre Fähigkeit, zu ionisieren, voll ausgenutzt. Die Zahl der sekundären und tertiären Träger, die ein Primärelektron auslöst, ist in diesem Falle also unabhängig vom Druck. Hieraus folgt: solange der Druck so hoch ist, daß die Bahnen der Primärelektronen die Kammerwandungen nicht erreichen, ist die Ionisation nur abhängig von der ausgelösten Zahl der Primärelektronen und daher dem Druck proportional. In der Abb. 30, die einer Abhandlung Bothes entnommen ist, ist dies durch das Kurvenstück c zum Ausdruck gebracht.

Sinkt der Druck aber unter jenen kritischen Wert, bei dem die Primärelektronen die Kammerwandungen erreichen, so wird die von einem Primärelektron erzeugte Anzahl sekundärer und tertiärer Elektronen ebenfalls ungefähr proportional dem Druck sein, wobei wir freilich davon absehen, daß die sekundäre und tertiäre Trägerbildung nach dem Bahnende hin an Häufigkeit zunimmt [vgl. V. Kapitel, 2. b) 1)]. Hieraus folgt, daß dann, wenn der Druck p so niedrig ist, daß die Bahnen der Primärelektronen an den Kammerwänden ein vorzeitiges Ende finden, die ganze Ionisation ungefähr proportional p^2 ist. In Abb. 30 ist das durch das Kurvenstück a zum Ausdruck gebracht. Die beiden Kurventeile a und c werden praktisch nicht mit einem scharfen Knick aneinanderstoßen, sondern allmählich ineinander übergehen: Kurvenstück b. Beim kritischen Druck p_0, für den der krumme Teil der Kurve in den geradlinigen übergeht, ist die Bahnlänge B_0

der Primärelektronen gleich dem bekannten Kammerradius. Da die Bahnlänge dem Druck umgekehrt proportional ist, so liefern p_0 und B_0 die ungefähre Länge B der Primärelektronenbahnen bei 760 mm Quecksilber Druck nach der Beziehung

$$B = \frac{B_0 \cdot p_0}{760} \tag{63}$$

Eine experimentell von Berg, Schwerdtfeger und Thaller gewonnene Kurve ist in Abb. 34 dargestellt. Sie zeigt durchaus den theoretisch erwarteten Gang der Ionisation mit dem Druck.

3. Die Druckluftkammer.

Die Spannungen unserer heute in der Tiefentherapie gebrauchten Röntgenmaschinen erreichen 200 kV und mehr. Wollen wir die gesamte Bahnlänge der Primärelektronen in Luft ausnutzen, so müssen wir, wie aus den Spalten 2 und 3 der Tabelle 27 hervorgeht, Ionisationskammern von etwa 130 cm Durchmesser konstruieren. Damit würde der Forderung I genügt. Wegen der Forderung II müßten wir bei Verwendung einer Schutzschicht die Länge der Ionisationskammer auf (130 + M) Zentimeter bemessen, worin M die Länge der sich durch die Mittelschicht erstreckenden Meßelektrode bedeutet.

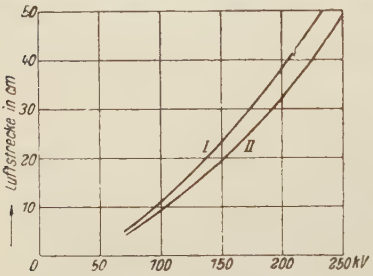


Abb. 31. Intensitätsabnahme von Kathodenstrahlen in Luft von Atmosphärendruck nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller. Kurve I stellt die Luftstrecken dar, die nötig sind, um einen Kathodenstrahl auf 5% seiner Anfangsintensität zu schwächen, Kurve II desgleichen für eine Schwächung bis auf 10% des Anfangswertes. Als Abszissen sind die Anfangsgeschwindigkeiten des Kathodenstrahles in kV aufgetragen.

Trotzdem ist aber zu erwarten, daß man auch dann, wenn man den nach Tabelle 27 zu erwartenden Kammerradius beträchtlich unterschreitet, nur einen verhältnismäßig geringen Fehler bei der Ionisationsmessung begeht. Hierfür sind folgende Überlegungen maßgebend:

a) Auf Grund der Lenardschen Zahlenangaben läßt sich berechnen, welcher Prozentsatz aller Primärelektronen von gleicher Anfangsgeschwindigkeit Wegstrecken einer bestimmten Länge überschreitet. So können wir z. B. nach den Wegstrecken fragen, die von nur 5% aller Elektronen überschritten werden. Die Kurve I der Abb. 31 von Berg, Schwerdtfeger und Thaller gibt diese als Ordinaten aufgetragenen Wegstrecken in Abhängigkeit von der auf der Abszissenaxe aufgetragenen Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen (in Voltgeschwindigkeit), Kurve II zeigt dasselbe für 10% der Elektronen. Man sieht aus diesen Kurven z. B., daß bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 200 kV 5% aller Elektronen Wege zurücklegen, die länger sind als 38 cm, und 10% solche, die länger sind als 32 cm. Das sind Zahlenwerte, die erheblich kleiner sind als der entsprechende von etwa 65 cm der Tabelle 27.

b) Die von einer Röntgenröhre ausgehende Strahlung ist auch bei Filterung noch verhältnismäßig inhomogen. Deshalb haben nur die von der allerhärtesten Komponente des Strahlengemisches beim Ionisationsvorgange ausgelösten Primärelektronen dieselbe Geschwindigkeit wie die Kathodenstrahlen im Röntgenrohre, deren Voltgeschwindigkeit gleich dem Scheitelwerte der Röhrenspannung ist. Da das Röntgenspektrum im kurzwelligsten Teile aber nur geringere Intensität besitzt als im mittleren Teile seiner Gesamtausdehnung, und da außerdem die kurzwelligsten Röntgenstrahlen am schwächsten absorbiert werden, so kommen die schnellsten beim Ionisationsvorgange erzeugten

Primärelektronen nur in verhältnismäßig geringer Zahl vor. Berg, Schwerdtfeger und Thaller haben den Einfluß des Kammerdurchmessers bei Röntgenstrahlengemischen verschiedener mittlerer Härte experimentell untersucht, indem sie zylindrische Ionisationskammern aus Aluminium von 20 cm Länge und von 4, 8, 12 und 16 cm Durchmesser mit Ein- und Austrittsfenstern aus Zellon benutzen. Die in Tabelle 38 mitgeteilten Ergebnisse lehren, daß bei 84 kV ungefilterter Strahlung bereits mit einem Kammerdurchmesser von 8 cm Vollionisation erreicht ist, während dies nach Tabelle 27 erst bei Durchmessern von etwa 20 cm der Fall sein sollte. Demgegenüber zeigt sich bei dem homogeneren und härteren Strahlengemisch von 140 kV und 5 mm Aluminiumfilter auch zwischen 12 und 16 cm Kammerdurchmesser noch eine Zunahme der Ionisation; vielleicht ist also hier auch bei 16 cm Durchmesser die Ausnutzung der Primärelektronen noch nicht vollständig.

Tabelle 38. Ionisation in Abhängigkeit von der Härte der Röntgenstrahlen und Kammergröße nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller.

Kammerdurchmesser	Ungefiltert		Filter 5 mm Aluminium 140 kV (Spitzenspannung)
	84 kV	112 kV	
4 cm	100	100	100
8 „	102	103	108
12 „	102	105	116
16 „	102	105	122

Diese Ergebnisse lehren, daß man, unserer Vermutung entsprechend, in der Praxis tatsächlich mit kleinerem Kammerdurchmesser auskommt, als es die Lenardschen Zahlenwerte der Tabelle 27 verlangen. Wie weit man den Durchmesser der Kammer reduzieren darf, hängt einerseits ab von der geforderten Genauigkeit der Ionisations-

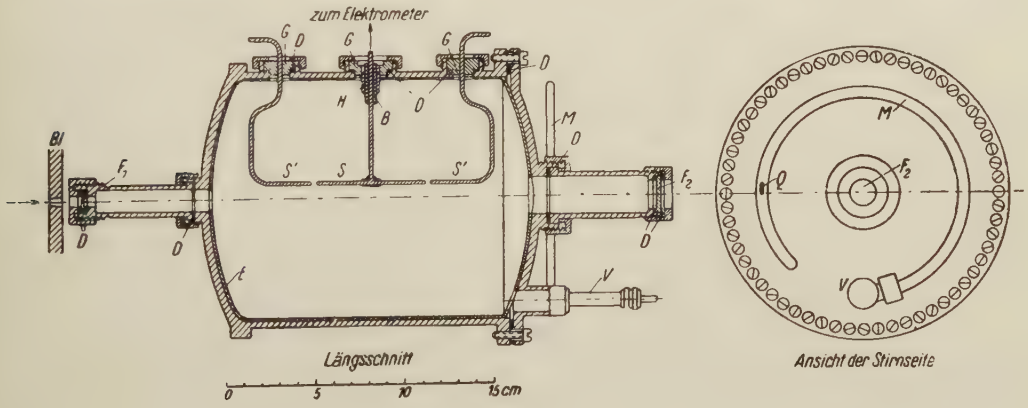


Abb. 32. Druckluftkammer nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller.

messung (a) und anderseits von der Homogenität der zu messenden Strahlengemische (b). Für höchste Genauigkeit und für monochromatische Röntgenstrahlung dürfte man allerdings die Lenardschen Zahlenwerte nicht unterschreiten.

Da in jedem Falle die heute in der Tiefentherapie angewandten Spannungen von 200 kV und mehr zur Messung reiner Luftionisation Riesenkammern erfordern, die für

Meßzwecke außerordentlich unbequem sind, gingen Berg, Schwerdtfeger und Thalier und kurz danach Behnken zum Prinzip der Druckluftkammer über. Ihm liegt folgender Gedanke zugrunde. Da die Bahnlänge der Elektronen dem Luftdruck umgekehrt proportional ist, so kommt man bei einem Druck von n Atmosphären mit einem n^{tel} des Durchmessers aus, den die Kammer bei Atmosphärendruck haben müßte. Sie konstruierten daher Kammern, welche Drucke von mehreren Atmosphären auszuhalten imstande sind.

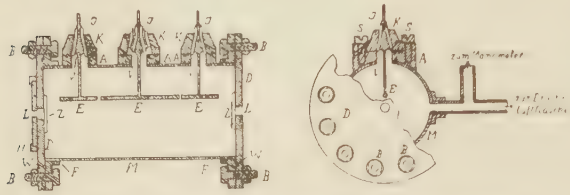


Abb. 33. Druckluftkammer nach Behnken.

Der Forderung I genügen sie durch Wahl hinreichend hohen Druckes; der Forderung II durch Verwendung des Schutzschichtprinzips vermöge zweier Hilfselektroden rechts und links der Meßelektrode. Der Forderung III wegen kleideten Berg, Schwerdtfeger und Thaller ihre Druckluftkammer mit Aluminiumblech, Behnken die seine mit Papier aus, das durch einen Graphitüberzug leitend gemacht ist. Den Forderungen IV und V genügten die ersten drei Autoren durch Verwendung des von ihnen angegebenen röhrenförmigen Ansatzes, welcher die Ein- und Austrittsfenster trägt. Ihre Kammer ist in Abb. 32 im Längsschnitt und in der Ansicht von der Stirnseite aus wiedergegeben. Die Kammer besitzt einen lichten Durchmesser von 13,2 cm und eine lichte Länge von 17,5 cm. Die Wandungen bestehen aus 2 mm starkem Eisenblech. Die nötigen festen Verbindungen sind durch autogene Schweißung hergestellt. Die Kammer kann mit Luft bis zu 6 Atmosphären Druck gefüllt werden. Als Manometer dient eine einseitig zugeschmolzene Glaskapillare mit Quecksilbertropfen. Hat diese Kapillare dieselbe Temperatur wie die Kammer, so zeigt der Stand des Quecksilbertropfens nicht den Druck, sondern die Dichte der Luftfüllung an, die bei Absorption der Röntgenstrahlen und bei Trägerbildung tatsächlich maßgebend ist. Das Eintrittsfenster von 6 mm Durchmesser besteht aus 1 mm starkem Zellon, das Austrittsfenster aus 3 mm starkem Glas. Der Querschnitt des einfallenden Strahlenbündels wird durch die vordere Bleiblende Bl begrenzt, die zur Verminderung der Streustrahlung eine konische Bohrung besitzt. Da das Strahlenbündel innerhalb der Kammer divergiert, wurde dem Austrittsfenster ein entsprechend größerer Durchmesser von 12 mm gegeben. Die Druckluftkammer von Behnken zeigt Abb. 33 im Längsschnitt und in der Ansicht von der Stirnseite. Der lichte Durchmesser der Kammer beträgt 7 cm, ihre lichte Länge 15,8 cm. Die Kammer besteht aus gezogenem Messingrohr; die Stirnflächen werden durch 5 mm starke Messingdeckel D gebildet, die durch je 12 Schraubbolzen B auf die Flanschen fest gepreßt werden. Zur Dichtung dienen Zwischenlagen aus Blei. Ein- und Austrittsfenster bestehen aus Zellon von 1 mm Stärke. Die Kammer ist für Drucke bis zu 10 Atmosphären gebaut. Die Bleiblende kann vermittels der Halter H direkt an die vordere Stirnwand angesetzt werden.

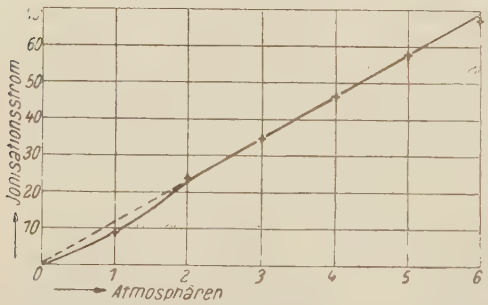


Abb. 34. Abhängigkeit der Ionisation vom Luftdruck für ein hartes Röntgenstrahlengemisch in der Kammer von Berg, Schwerdtfeger und Thaller.

Die zur Sättigung erforderliche Gleichspannung wurde bei beiden Kammern mit

Hilfe von Transformatoren, Glühventilröhren und Kondensatoren hergestellt. Sie betrug bei Berg, Schwerdtfeger und Thaller 1000 Volt, bei Behnken etwa 3200 Volt.

4. Messungen mit der Druckluftkammer.

Berg, Schwerdtfeger und Thaller ließen ein mit 180 kV Scheitelspannung und 1 mm Kupferfilter hergestelltes Strahlengemisch durch ihre Druckluftkammer fallen und untersuchten die Ionisation in Abhängigkeit vom Druck. Die in Abb. 34 dargestellte Kurve lehrt, daß für dieses Strahlengemisch bei Drucken von 2 Atmosphären und mehr Proportionalität zwischen Ionisation und Druck besteht. Nach der Lenardschen Tabelle 27 beträgt die Bahnlänge der schnellsten Primärelektronen, die dieses Strahlengemisch auszulösen befähigt ist, bei einer Atmosphäre etwa 58 cm, bei zwei Atmosphären also 29 cm. Der Umstand, daß trotz eines Kammerradius von nur 6,6 cm schon von zwei Atmosphären an Proportionalität besteht, beweist, daß man für das angewandte Strahlengemisch praktisch reine Luftionisation bereits bei ein Viertel derjenigen Bahnlänge mißt die für homogene Strahlung in Spalte 3 der Lenardschen Tabelle 27 gegeben wird.

Berg, Schwerdtfeger und Thaller untersuchten die Abhängigkeit der Ionisation vom Druck auch dann, als nach Entfernen der röhrenförmigen Ansätze die Fenster direkt an der Stirnwand befestigt waren. Der Verlauf der Kurve ist der gleiche wie bei Abb. 34, nur geht ihre geradlinige Verlängerung nicht durch den Nullpunkt, was bei dieser Anordnung auf die an den Fenstern der Kammer ausgelöste Streustrahlung und Elektronenemission zurückzuführen ist.

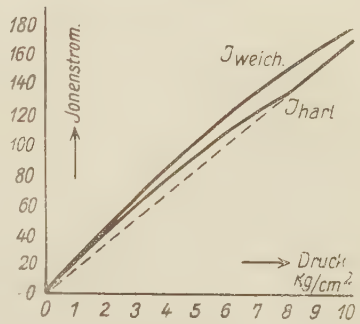


Abb. 35. Abhängigkeit der Ionisation vom Luftdruck bei harter und weicher Röntgenstrahlung in der Kammer von Behnken.

Behnken untersuchte die Abhängigkeit zwischen Ionisation und Druck bei einem weichen, völlig ungefilterten Strahlengemisch von 51 kV Scheitelspannung und bei einem harten, das bei 185 kV Scheitelspannung durch 0,5 mm Zink und 1 mm Aluminium gefiltert war. Der verschiedene Verlauf der Kurven in beiden Fällen ist in Abb. 35 wiedergegeben. Beide Kurven verlaufen bei niedrigen Drucken oberhalb der durch den Nullpunkt gehenden gestrichelten Geraden. Die Kurve für harte Strahlung steht damit im Gegensatz zu derjenigen von Berg, Schwerdtfeger und Thaller. Die Ursache ist darin zu suchen, daß bei der Behnkenschen Kammer die Fenster in der Stirnfläche liegen. Unter diesen Umständen spielt sich der Vorgang folgendermaßen ab. Einerseits werden bei niedrigem Druck und bei dem harten Strahlengemisch die ausgelösten Elektronen nicht voll ausgenutzt; dies hätte eine Verkleinerung der Ionisation von J_{hart} bei niedrigem Druck zur Folge, wie sich das in Abb. 34 bei den Messungen von Berg, Schwerdtfeger und Thaller zeigt. Anderseits aber werden durch die Röntgenstrahlen bei der Behnkenschen Anordnung der Fenster auch an diesen Primärelektronen ausgelöst, welche in nennenswerter Anzahl in den Meßraum gelangen. Diese Elektronen fliegen bei harter Strahlung und niedrigem Druck über den Raum der beiden äußeren Schutzelektroden der Kammer hinaus in den Bereich der mittleren Meßelektrode und bewirken hier bei niedrigem Druck eine Vergrößerung der Ionisation J_{hart}. Der Ionisationsausfall infolge ungenügender Elektronenausnutzung und die Primärelektronenemission der Fenster überlagern sich also im entgegengesetzten Sinne, und zwar überwiegt bei der Behnkenschen Kammer die letztere.

Von Interesse ist der Vergleich zwischen der bei einem harten Strahlengemisch erhaltenen Kurve von Berg, Schwerdtfeger und Thaller mit derjenigen von Behnken. Die ersteren arbeiteten mit 180 kV und 1 mm Kupfer, Behnken mit 185 kV und 0,5 mm Zink + 1 mm Aluminium. Wie wir im X. Kapitel sehen werden, ist der Einfluß der Aluminiumfilterung zu vernachlässigen; Zink und Kupfer sind im periodischen System benachbarte Elemente und ihre Filtereigenschaften können daher als fast gleich angesehen werden. Der Überschuß von 5 kV bei Behnken macht sein Strahlengemisch etwas reicher an härtesten Komponenten. Dieser Einfluß wird aber reichlich überkompensiert durch die Verwendung des halb so dicken Schwermetallfilters, so daß sein Strahlengemisch im Mittel als weicher anzusprechen ist als dasjenige von Berg, Schwerdtfeger und Thaller. Nun zeigt sich, wie Abb. 34 lehrt, bei der Kammer dieser Forscher schon von zwei Atmosphären ab Proportionalität zwischen Ionisation und Druck, während bei der im Mittel weicheren Strahlung von Behnken diese Proportionalität erst bei 8 Atmosphären einsetzt. Die Ursache ist darin zu suchen, daß Berg, Schwerdtfeger und Thaller den Wandwirkungsbeitrag der Fenster in zweifacher Weise unschädlich machen, nämlich einerseits durch Herausrücken der Fenster vermittels der röhrenförmigen Ansätze, und zweitens durch Verwendung der Schutzschicht mit Hilfselektrode, während Behnken auf die letztere Schutzmaßnahme allein angewiesen ist. Der Vergleich beider Kurven lehrt, daß man mit der Kammer von Berg, Schwerdtfeger und Thaller bei dem zulässigen Höchstdruck von 6 Atmosphären auch dann noch Proportionalität zwischen Ionisation und Druck erhält, d. h. reine Luftionisation mißt, wenn man mit Strahlengemischen arbeitet, die im Mittel beträchtlich härter sind als ein solches von 180 kV Scheitelspannung und 1 mm Kupferfilterung. Demgegenüber wird man bei der Behnkenschen Kammer mit ihrem zulässigen Höchstdruck von 10 Atmosphären keine im Mittel härteren Strahlengemische anwenden dürfen als das eben genannte, da sonst keine reine Luftionisation mehr zu erwarten ist. Voraussichtlich ließe sich der Meßbereich bei der Behnkenschen Druckluftkammer in sehr einfacher Weise dadurch wesentlich erweitern, daß man dieselben röhrenförmigen Fensterträger an ihr anbringt wie bei der Druckluftkammer von Berg, Schwerdtfeger und Thaller.

Die nur von Behnken bei der weichen Strahlung gemessene Ionisation zeigt in dem ganzen Bereich bis zu 10 Atmosphären Druck keine Proportionalität mit diesem, vielmehr verläuft die Kurve J_{weich} vom Nullpunkt ausgehend leicht gekrümmt. Behnken deutet das so, daß die extrem weiche Strahlung, von der man zunächst einen streng geradlinigen Verlauf erwarten möchte, durch die Absorption, welche in der Druckluft

Tabelle 39. Berücksichtigung der Absorption weicher Strahlung in der Druckluftkammer nach Behnken.

Durck p in Atm.	Längs der Meßelektrode absorbierte Röntgenenergie	J_{weich} (beobachtet)	J_{weich} (beobachtet) pro absorbierte Energie
1	0,0175	21,5	1228
2	0,0342	43,0	1257
3	0,0502	63,5	1265
4	0,0656	82,0	1250
5	0,0800	101,0	1263
6	0,0942	118,0	1253
7	0,1077	134,0	1244
8	0,1203	149,0	1239
9	0,1323	163,0	1232
10	0,1445	177,0	1225

dem Druck proportional gesteigert ist, bereits merklich in ihrer Intensität geschwächt wird, was das Absinken der Ionisation bei zunehmendem Druck zur Folge hat. Behnken hat die Absorption des weichen Strahlengemisches in Luft bestimmt, indem er Messungen in verschiedenem Abstande der Kammermitte vom Antikathodenbrennfleck ausführte. Aus der Abweichung vom quadratischen Abstandsgesetz konnte er den Absorptionskoeffizienten zu $\mu = 0{,}0027$ für das weiche Strahlengemisch festlegen. Berechnet er mit Hilfe desselben die längs der Meßelektrode in der Druckluft absorbierte Röntgenenergie $J_{A,\,weich}$ und bezieht er die gemessene Ionisation J_{weich} auf jene, so erhält er die in Spalte 4 der Tabelle 39 mitgeteilten Zahlenwerte, welche innerhalb der Versuchsfehler konstant sind. Daß diese Zahlenwerte nicht proportional mit dem Druck ansteigen, liegt daran, daß die absorbierte Energie ebenfalls proportional dem Druck ist. Die Konstanz beweist, daß man auch bei weicher Strahlung reine Luftionisation mit der Druckluftkammer messen kann, wenn man nur die gemessene Ionisation auf absorbierte Energie bezieht.

5. Die Korrektur auf Normaldruck von 760 mm Quecksilber bei gewöhnlichen Kammern.

a) Große Kammer.

Wie wir sahen, wird die Gesamtionisation um einen Bruchteil zu groß bestimmt, der von der Streustrahlung und von der Emission von Primärelektronen durch die Fenster hervorgerufen wird. Demgegenüber bewirkt vorzeitiges Auftreffen der an der Luft ausgelösten Primärelektronen auf zu nahe Kammerwände einen Ausfall an Ionisation. Im allgemeinen werden sich beide Einflüsse nicht kompensieren; daß bei normalem Druck bald der eine, bald der andere überwiegen kann, lehren die bei harter Strahlung aufgenommenen Kurven der Abb. 34 und 35. Bei der ersteren überwiegt für 1 Atmosphäre die Bahnverkürzung, bei der letzteren die Elektronenemission der Fenster.

Für den Ionisationseffekt ist in Wirklichkeit nicht der Druck, sondern die Dichte maßgebend, da ihr die Zahl der Moleküle im Kubikzentimeter proportional ist. Nun hat, wie wir im I. Kapitel sahen, Mc Clung bei seiner zweiten Versuchsreihe den Druck konstant gehalten und die Temperatur von + 15 auf + 272° C erhöht; da aber bei konstantem Druck die Dichte umgekehrt proportional der absoluten Temperatur ist, deren Nullpunkt bei — 273° C liegt, so entspricht das rund einer Dichteänderung von 2:1. Hierbei fand Mc Clung, daß die Ionisation umgekehrt proportional der absoluten Temperatur, d. h. proportional der Dichte ist, was reiner Luftionisation entspricht. Ob bei seiner Kammer und bei seinem Strahlengemisch wirklich zufällig Kompensation der Störungen auftrat, ist schwer festzustellen. Von Interesse ist aber die Frage, ob wir die Korrekturformel (1a) und (1b), die wir an Hand seiner Ergebnisse für gewöhnliche Kammern zur Reduktion auf Normaldruck von 760 mm ableiteten, auch jetzt noch als zu Recht bestehend ansehen dürfen, nachdem wir die Fehlereinflüsse kennenlernten. Diese Formel geht von der Voraussetzung aus, daß die Ionisation in der Umgebung einer Atmosphäre der Dichte der Luft und daher dem Druck proportional sei.

Betrachten wir die für harte Strahlen erhaltenen Kurven der Abb. 34 und 35. Legen wir eine Gerade durch den Nullpunkt und durch den Kurvenpunkt von einer Atmosphäre, so zeigt sich, daß diese Gerade für die nächste Umgebung dieses Punktes so dicht auf die gemessene Kurve fällt, daß man beide kaum unterscheiden kann. In Wirklichkeit schneidet unsere Gerade die Kurve; aber sie tut es unter einem äußerst spitzen Winkel, so daß sie jene fast berührt. Nehmen wir nun an, der Druck schwanke um + oder — 50 mm um den Normaldruck von 760 mm, so bedeutet das, daß wir nur ca. $^2/_{15}$ Atmosphäre

auf der beobachtenden Kurve entlang zu gehen hätten, um aus dem so ermittelten Kurvenpunkte die Änderung der Ionisation, d. h. die Korrektur zu ermitteln. Innerhalb dieses Bereiches ist aber eine Abweichung zwischen der beobachteten Kurve und unserer Geraden kaum nachweisbar. Bedenken wir weiter, daß wir im Einzelfall gar nicht wissen, ob die Abweichung in Wirklichkeit im Sinne der in Abb. 34 oder der in Abb. 35 dargestellten Kurve liegt, so müssen wir annehmen, daß unsere Formel (1a) und (1b) eine völlig hinreichende mittlere Korrektur liefert.

b) Fingerhutkammer.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Fingerhutkammer. Diese steht ganz im Strahlenkegel und ihre Wände und ihre Elektrode sind starke Quellen für Primärelektronen und Streustrahlung, welche beide einen Ionisationszusatz liefern. Bei dem kleinen Volumen, das die Bahnen der in der Luft ausgelösten Primärelektronen nur zu einem kleinen Teile ausnutzt, wird jene Wandwirkung besonders stark hervortreten. Daß das der Fall ist, lehren die Messungen von Friedrich und Glasser (Abb. 20); im Einzelfalle sind die Einzeleinflüsse verschieden, aber stets quantitativ kaum abzuschätzen.

Die von den Röntgenstrahlen an den Kammerwänden ausgelöste Zahl von Primärelektronen kann von dem Drucke p im Gasraum nicht abhängig sein; wohl aber werden diese Primärelektronen im Gasraum eine Zahl sekundärer und tertiärer Träger erzeugen, die dem Drucke p proportional ist. Demgegenüber werden die von den Röntgenstrahlen am Gas ausgelösten Primärelektronen eine Ionisation hervorrufen, die p^2 proportional ist, da auch bei den weichsten, in der Praxis in Frage kommenden Röntgenstrahlen die Bahnen der Primärelektronen an den Kammerwänden stets ein vorzeitiges Ende finden werden. Die Gesamtionisation J setzt sich daher bei der Fingerhutkammer aus zwei Einzelwirkungen zusammen. Ist w und l die Zahl der in der Zeiteinheit an der Wandung und an Luft von Atmosphärendruck ausgelösten Primärelektronen, so wird

$$J = w \cdot p + l \cdot p^2. \qquad (64)$$

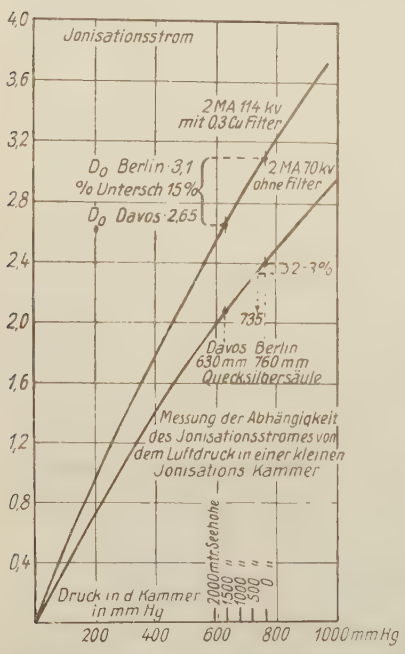


Abb. 36. Abhängigkeit der Ionisation vom Luftdruck bei der Fingerhutkammer des Siemens-Röntgen-Dosismessers nach Schlechter.

Nehmen wir nun einmal an, es sei w klein gegen l. Dann wird die Ionisation nahezu proportional p^2 zunehmen. Nehmen wir demgegenüber an, w sei groß gegen l; dann steigt die Ionisation nahezu linear mit p an. Bei den gebräuchlichen Kammern wird w von derselben Größenordnung sein wie l, und wir dürfen eine zwischen beiden Extremfällen verlaufene Druckabhängigkeit der Ionisation erwarten.

Diese Betrachtungen lehren, daß, je nachdem die Wandwirkung die Luftionisation überwiegt oder nicht, der Einfluß des Druckes auf die gemessene Ionisation bei der Fingerhutkammer stärker oder ebensogroß sein kann wie bei der großen Kammer. Quantitativ Allgemeingültiges läßt sich nicht aussagen; hier kann nur die Untersuchung des Sonderfalles Aufklärung geben.

Messungen über die Druckabhängigkeit der Fingerhutkammer wurden, soweit dem Verfasser

bekannt ist, bisher nur für diejenige des Siemens-Röntgen-Dosismessers ausgeführt. Die Ergebnisse wurden dem Verfasser von Herrn Dr. Schlechter in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt, wofür ihm an dieser Stelle ganz besonders herzlichst gedankt sei. Schlechter brachte die Fingerhutkammer in einen kleinen Rezipienten, der mit einem Quecksilberbarometer und einer Luftpumpe in Verbindung stand. Mit Hilfe dieser Anordnung untersuchte Schlechter die Abhängigkeit der Ionisation vom Luftdruck für 2 Strahlengemische, nämlich bei 70 kV ohne Filter und bei 114 kV mit 0,3 mm Kupferfilter. Seine Ergebnisse zeigt Abb. 36. Auffällig ist, daß die Kurven leicht gekrümmt sind im entgegengesetzten Sinne, als nach Gleichung (64) zu erwarten wäre. Nimmt man an, daß der Luftdruck für eine Stadt wie Berlin bei 20^0 C zwischen 735 und 760 mm Quecksilber, also um etwa 3,4 % schwankt, so bedingt diese Druckänderung ein Ansteigen der Ionisation von 2,34 auf 2,40, d. h. um etwa 2,6 %. Wir dürfen also die Ionisation nahezu dem Druck proportional ansetzen. Beträchtlich wird demgegenüber der Unterschied der Ionisation, der an demselben Gerät in verschiedener Höhe über dem Meeresspiegel gemessen wird. Für das härtere Strahlengemisch ergibt sich hier beispielsweise für Berlin und Davos ein Ionisationsunterschied von 15 %, also ein Unterschied, der keineswegs vernachlässigt werden darf und nach Eichung des Gerätes in Berlin in Davos unbedingt berücksichtigt werden müßte. Diese Betrachtungen setzen gleiche Lufttemperatur voraus. Treten auch Temperaturschwankungen ein, so können die Ionisationsunterschiede noch weit erheblicher werden, da die Dichte der Luft für die Ionisation maßgebend ist. Näheres hierüber wurde bereits im I. Kapitel behandelt.

Achtes Kapitel.

Die Energiemessung der Röntgenstrahlen.

1. Absorption von Energie ist die Vorbedingung für alle Wirkungen.

Immer wieder begegnet man in der Literatur einer Fragestellung in der folgenden oder in ähnlicher Form:

„Besitzen harte oder weiche Röntgenstrahlen bei einem bestimmten Objekt größere biologische Wirkung?“

Diese Fragestellung ist ebenso unvollständig wie die folgende: „Was erscheint dir größer, dieser Teller oder der Mond?“

Beiden Fragestellungen fehlt eine grundlegende Angabe. Bei dem Teller muß man den Abstand vom Auge mit angeben und bei den Röntgenstrahlen die Einheit, in der man mißt. Daß eine Fragestellung wie die erstere überhaupt möglich ist, ist nur darauf zurückzuführen, daß das Fundamentalgesetz aller Vorgänge gar nicht erfaßt wurde: das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Energie kann nie entstehen oder verlorengehen; sie kann nur ihre Erscheinungsform wechseln. Allein dort, wo Energie absorbiert wurde, kann Wirkung irgendwelcher Art erzielt werden. Deshalb wird obige Fragestellung sogleich vollständig, wenn wir sagen:

„Besitzt harte oder weiche Röntgenstrahlung bei einem bestimmten Objekt größere biologische Wirkung, wenn in beiden Fällen dieselbe Röntgenenergie absorbiert wurde?“

So drängt sich uns die Frage auf, ob es möglich ist, mit Hilfe der Ionisationsmethode die Energie der Röntgenstrahlen zu messen. Mit dieser Frage wollen wir uns hier beschäftigen und das Problem der Abhängigkeit biologischer Wirkung von der Wellenlänge bei gleicher absorbierter Röntgenenergie für das nächste Kapitel aufsparen.

Wir werden hier 3 Methoden der Energiemessung kennenlernen, die auf der quanten-

haften Auffassung des Absorptions- und Emissionsvorganges beruhen, jener Auffassung, die auch wir an die Spitze unserer Betrachtungen stellten. Eine 4. Methode benutzt die Umsetzung der absorbierten Röntgenenergie in Wärmeenergie.

Wird ein Quant Röntgenenergie $h\nu$ der Frequenz ν von einem Atom absorbiert, so tritt nach unseren oben entwickelten Anschauungen zweierlei ein. Einerseits wird ein Planetenelektron aus einer der Schalen des Atoms gerissen. Hierzu ist die Arbeit A nötig; und mit einer kinetischen Energie $\frac{m}{2} v^2$, die gleich ist der Differenz aus absorbierter Energie und Abtrennungsarbeit, verläßt das Elektron die Atomperipherie. Es gilt:

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = h \cdot \nu - A. \tag{23}$$

Auf diesen Erstakt der Absorption und der teilweisen Wiederemission folgt eine „Verweilzeit" von etwa ein Hundertmillionstel Sekunde. Nach Verlauf derselben erfolgt der zweite Akt der Emission: die Lücke, die durch Herausreißen des Planetenelektrons entstand, wird durch ein weiter außen gelegenes wieder ausgefüllt. Mag dies direkt geschehen durch ein Elektron der äußersten Schale, oder mag zunächst eines aus einer mittleren Schale an die freie Stelle springen, und mag sich dessen freier Platz nach einander durch andere von außen her wieder ausfüllen: bei jedem Sprunge wird eine Linie der charakteristischen Strahlung des Atoms emittiert. Die Ergänzung der Lücke des beim Absorptionsakt aus dem Atomverbande losgerissenen Elektrons ist dann ein Vorgang für sich, für dessen Ablauf es gleichgültig ist, wie die Lücke entstand. Insonderheit ist es hierfür gleichgültig, welches die Frequenz des absorbierten Strahlungsquants war; dieser Umstand äußert sich allein in der mehr oder minder großen kinetischen Energie des losgerissenen Planetenelektrons.

Nehmen wir nun an, es sei eine gewisse Energie E der Frequenz ν in 1 Sekunde im Kubikzentimeter eines Mediums absorbiert worden. Dann setzt sich diese absorbierte Energie zusammen aus n Strahlungsquanten; es ist:

$$E = n \cdot h \cdot \nu, \tag{65}$$

d. h., es sind auch n solcher Strahlungsquanten pro Sekunde und Kubikzentimeter absorbiert worden.

Liegen die Dinge so, wie wir sie eben schilderten, so werden als Folge dieser einzelnen n Absorptionsprozesse auch n Emissionsprozesse in zweierlei Gestalt erfolgen: einerseits werden n Elektronen in Freiheit gesetzt werden und anderseits werden n Akte charakteristischer Strahlungsemission stattfinden, welch letzteres so zu verstehen ist, daß bei einem Akte mehrere Spektrallinien emittiert werden können: die Summe ihrer Einzelquanten muß gleich der Abtrennungsarbeit sein:

$$h \cdot \nu' + h\nu'' + h\nu''' + \ldots = A. \tag{66}$$

Beide Vorgänge können zur Energiemessung der Röntgenstrahlen herangezogen werden. Kennt man $\nu = \frac{c}{\lambda}$ der absorbierten Strahlung, und gelingt es, n zu zählen, so kann man die Energie E berechnen, da $h = 6{,}54.10^{-27}$ ergsek. bekannt ist. Das Problem der Energiemessung ist damit auf das andere reduziert, die Zahl n der absorbierten Energiequanten $h\nu$ zu bestimmen, und wir wollen uns nun mit den Methoden bekannt machen, nach denen dies möglich ist.

2. Messung von n durch Beobachtung der Intensität charakteristischer Sekundärstrahlung.

Diese Methode ist von Kossel vorgeschlagen worden. Sie läuft darauf hinaus, die vom Atom aufgespeicherte Abreißarbeit zu messen, die dieses, nach Ablauf der Verweilzeit, in Form charakteristischer Strahlung abgibt. Wie wir sahen, kann diese, entsprechend Gleichung (66), in Form mehrerer Spektrallinien emittiert werden. Dabei ist die Intensität einer solchen Linie ein Maßstab für die Häufigkeit ihrer quantenhaften Einzelemissionen. Nun lehrt aber die Erfahrung, daß die Intensität der Spektrallinien einer Serie zueinander stets in einem bestimmten Verhältnis steht. Und zwar ist die Frequenz der absorbierten Strahlung, wie wir schon oben betonten, ohne Einfluß auf die Häufigkeit der Einzelvorgänge oder der Intensität der einzelnen Linien. Hieraus folgt: fassen wir eine bestimmte Linie, z. B. die K_α-Linie, ins Auge, so wird die Zahl der Emissionsprozesse derselben proportional sein der Zahl n der quantenhaften Absorptionsprozesse, die sich in der Sekunde und im Kubikzentimeter des absorbierenden Elements abspielen, ganz einerlei, welches die Frequenz ν der absorbierten Energie war. Wurden n Energiequanten der Frequenz ν absorbiert, sind also n Atome zur Strahlungsemission „angeregt" worden, und ist u der Bruchteil aller Fälle, in denen eine Spektrallinie der Frequenz ν_s emittiert wird, so haben wir eine Emission von $u \cdot n$ Lichtquanten der charakteristischen Sekundärfrequenz ν_s zu erwarten. Die Energie, die 1 ccm des absorbierenden Elementes in der Sekunde in Form dieser Spektrallinie emittiert, beträgt dann also:

$$E' = u \cdot n \cdot h \nu_s \tag{67}$$

oder, wenn wir vermöge Gleichung (65)

$$n h = \frac{E}{\nu} \tag{65}$$

hier einsetzen:

$$E' = u \cdot E \cdot \frac{\nu_s}{\nu}. \tag{68}$$

Vergleichen wir zwei primäre Röntgenstrahlungen mit den Frequenzen ν_1 und ν_2 miteinander, welche beide dieselbe sekundäre charakteristische Spektrallinie anzuregen vermögen, so sind die von ihnen erzeugten sekundären Energien derselben Frequenz ν_s:

$$\left.\begin{aligned} E'_1 &= u \cdot E_1 \cdot \frac{\nu_s}{\nu_1} \\ \text{und} \qquad E'_2 &= u \cdot E_2 \cdot \frac{\nu_s}{\nu_2}. \end{aligned}\right\} \tag{69}$$

Hieraus ergibt sich das Energieverhältnis der Primärstrahlungen verschiedener Wellenlänge zu

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E'_1}{E'_2} \cdot \frac{\nu_1}{\nu_2}. \tag{70}$$

Das Wesentliche an dieser Methode ist das, daß die Sekundärstrahlung in beiden Fällen dieselbe Wellenlänge besitzt. Es lassen sich deshalb die beiden Primärenergien verschiedener Wellenlängen durch Ionisationsmessung miteinander vergleichen. Denn die im allgemeinen unbekannte Wellenlängenempfindlichkeit der Ionisationskammer fällt bei dieser Methode dadurch heraus, daß man in beiden Fällen nur verschiedene Intensitäten charakteristischer Sekundärstrahlung derselben Wellenlänge mißt, und für ein und dieselbe Wellenlänge darf man die gemessene Ionisation stets der Energie

proportional setzen, welches die Konstruktion der Ionisationskammer auch sei. Die einzige Forderung ist die der Sättigung.

3. Messung von n durch Auszählung der Primärelektronenbahnen.

Mit jeder Absorption eines Energiequantums ist die Emission eines losgerissenen Planetenelektrons verbunden. Läßt man ein Röntgenstrahlbündel von 1 qcm Querschnitt während t Sekunden durch eine Wilsonsche Nebelkammer fallen, und zählt man nach der Expansion längs 1 cm Bahn $n \cdot t$ lange Bahnen, die von solchen Primärelektronen herrühren, so kann man hieraus mit Hilfe des bekannten t das n ermitteln. Dieses Verfahren wäre besonders geeignet, weil sich die langen Bahnen der beim Absorptionsprozeß losgerissenen Elektronen, auf die es uns hier ankommt, leicht von den kurzen Bahnen der Rückstoßelektronen unterscheiden lassen, so daß das Ergebnis durch die mit dem Streuvorgang verbundene Ionisation nicht gefälscht wird. Diese beiden von Kossel vorgeschlagenen Verfahren sind indessen noch nicht angewandt worden.

4. Messung von n durch die Ionisationswirkung der losgerissenen Primärelektronen.

Dieses Verfahren wurde zuerst von Holthusen empfohlen. Es war dies der erste Vorschlag, die Energie der Röntgenstrahlen durch die von ihnen hervorgerufene reine Gasionisation zu messen. Aus diesem Grunde hat Holthusen 3 Forderungen erhoben:

I. Es muß Sättigung vorhanden sein.

II. Die Bahnen der Primärelektronen dürfen kein vorzeitiges Ende an den Kammerwandungen finden, damit ihre ionisierende Kraft voll ausgenutzt wird.

III. Es dürfen nur diejenigen Träger zur Messung gelangen, deren erzeugende Primärelektronen durch das primäre Röntgenstrahlbündel am Gas ausgelöst wurden.

Um diese Forderung zu erfüllen, unternahm Holthusen, zum Teil gemeinsam mit Becker, jene Untersuchungen, die wir im VI. Kapitel gewürdigt haben, und die das Fundament der Messung reiner Ionisation am Gasraum bilden.

Wir wollen zunächst voraussetzen, es handle sich einerseits nur um sehr leichtatomige Elemente und andererseits um Röntgenstrahlung hinreichend hoher Frequenz oder kurzer Wellenlänge, wodurch in Gleichung (23) die Abtrennungsarbeit A im Vergleich zum absorbierten Energiequantum $h\nu$ verschwindend klein wird, so daß sich die ganze absorbierte Energie in kinetischer Energie des abgetrennten Primärelektrons wieder findet. Es möge also gelten:

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 \backsim h \cdot \nu. \tag{37}$$

Läßt man ein Röntgenstrahlbündel der Frequenz ν und von 1 qcm Querschnitt durch eine Ionisationskammer fallen, die allen 3 Forderungen Holthusens für Messung reiner Gasionisation genügt, und mißt man einen von der Röntgenstrahllänge 1 cm erzeugten Sättigungsstrom i, d. h. die in der Sekunde erzeugte Elektrizitätsmenge, so ist

$$i = l \cdot n \cdot S. \tag{71}$$

Hierin bedeutet S die von jedem Primärelektron längs seiner ganzen Bahn erzeugte Zahl sekundärer + tertiärer Träger, die für Röntgenstrahlen jeder bekannten Frequenz $\nu = \frac{c}{\lambda}$ nach der Formel

$$\lambda V = 12{,}3 \tag{36}$$

aus Spalte 9 der Lenardschen Tabelle 27 bekannt ist. Mit Hilfe des so ermittelten

Wertes n ergibt sich unter Zuhilfenahme von Gleichung (65) die pro Kubikzentimeter Gas und pro Sekunde absorbierte Röntgenenergie E.

Handelt es sich nur darum, die Energie von 2 Röntgenstrahlbündeln gleichen Querschnitts, aber verschiedener Wellenlängen λ_1 und λ_2 zu vergleichen, von denen pro Sekunde und pro Kubikzentimeter wohl die gleichen Energien E, aber verschiedene Zahlen n_1 und n_2 von Energiequanten absorbiert werden, so gilt

$$\frac{n_1 \cdot h \cdot \nu_1}{n_2 \cdot h \cdot \nu_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{E}{E} = 1. \tag{72}$$

Also ist das Verhältnis der während derselben Zeit in demselben Volumen absorbierten Anzahl von Quanten

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \tag{73}$$

bekannt. Die beobachteten Sättigungsströme müssen sich dann verhalten wie

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{n_1 \cdot S_1}{n_2 \cdot S_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{S_1}{S_2} \tag{74}$$

oder, vermöge Gleichung (36), wie

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{S_1}{S_2}. \tag{75}$$

Die Tabelle 40 gibt, entsprechend dem Zahlenmaterial von Lenard, in Spalte 3 die Werte S/V. Eine Strahlung der Wellenlänge 0,122 Å hätte demnach etwa den doppelten ionisierenden Effekt wie eine Strahlung von 0,499 Å, und den zehnfachen wie eine Strahlung von 4,80 Å, obgleich in allen Fällen dieselbe Röntgenenergie absorbiert wurde. Die Zahlen der Spalte 3 stellen mit der Härte der Röntgenstrahlen veränderliche Faktoren dar, durch die man die für eine bestimmte Strahlung gemessene Ionisation dividieren muß, um die im Gasraum absorbierten Energien miteinander vergleichen zu können.

Tabelle 40. Trägerbildung in Luft bei gleicher absorbierter Röntgenenergie verschiedener Wellenlänge nach Holthusens Theorie.

λ (Å)	V in Kilovolt	S/V
19,34	0,637	(0,8)
4,80	2,56	0,78
2,11	5,84	1,2
1,17	10,50	1,90
0,737	16,7	3,17
0,499	24,7	4,05
0,359	34,3	4,66
0,264	46,5	5,31
0,201	61,2	6,29
0,155	79,1	7,33
0,122	101	8,21
0,096	128	8,99
0,0764	161	9,44
0,0606	203	9,80
0,0474	260	9,88
0,0360	342	9,68
0,0268	459	9,15
0,0186	626	8,16
1	2	3

Dieser Methode von Holthusen stehen folgende Bedenken entgegen:

I. Wir sind oben von der Voraussetzung ausgegangen, es sei die Lostrennungsarbeit A verschwindend klein im Vergleich zur Energie h ν des absorbierten Quants. Es enthält aber die Luft, in der die Ionisationsmessungen ausgeführt werden, einen beträchtlichen Prozentgehalt an schweratomigen Edelgasen, wie wir im II. Kapitel bei Berechnung der Luftabsorption bereits sahen. Berechnet man unter Zugrundelegung der Massenabsorptionskoeffizienten, zu denen obige Berechnung führte, für alle Bestandteile der Luft, wieviel Prozent der Gesamtabsorption auf die einzelnen derselben entfallen, so erhält

Tabelle 41. Anteile der einzelnen Luftbestandteile an der Absorption.

Element	Gewichtsprozente G	$\frac{\bar{\mu}}{\rho \cdot \lambda^3}$	$\frac{G\,\bar{\mu}}{\rho\lambda^3}$	Gesamtabsorption in %
Sauerstoff	23,2	2,66	61,7	23,1
Stickstoff	75,5	1,98	150,3	56,2
Argon	1,3	33	42,9	16,1
Krypton	0,028	293	8,21	3,1
Xenon	0,005	825	4,13	1,5
1	2	3	4	5

man als Ergebnis Spalte 5 von Tabelle 41. Man sieht, daß allein Argon mit etwa 16% beteiligt ist. Da nach Kossel $^6/_7$ aller Absorptionen eines Atoms auf K-Absorptionen gehen, so ist zu erwarten, daß etwa 14% aller losgerissenen Primärelektronen aus der K-Schale des Argons stammen. Nach Tabelle 17 mißt die K-Absorptionsbandkante des Argon 3,866 Å. Wird eine Röntgenstrahlung absorbiert, die auch nur eine Spur kurzwelliger ist, also z. B. eine solche von 3,865 Å, so wird deren Energie im Argonatom fast restlos zur Abtrennungsarbeit verbraucht, so daß diese Primärelektronen die Atomperipherie mit einer äußerst kleinen Geschwindigkeit verlassen und so fast keine Fähigkeit zur Bildung sekundärer Träger besitzen. Bei Röntgenstrahlen von 3,865 Å Wellenlänge kommen also 14% aller Primärelektronen für Ionisationswirkung nicht in Frage. Je härter die Röntgenstrahlen sind, desto mehr wird dieser Effekt freilich zurücktreten. Bei der halben Wellenlänge von etwa 1,93 Å werden diese 14% aller Primärelektronen bereits etwa die Hälfte der kinetischen Energie besitzen, die dem absorbierten Lichtquant entspricht, und für die harten Strahlengemische der Tiefentherapie spielt die Abtrennungsarbeit beim Argon keine nennenswerte Rolle mehr. Beim Krypton und Xenon wird man den entsprechenden Vorgang unberücksichtigt lassen dürfen, da sie für hinreichend harte Röntgenstrahlen nur mit etwa 3% bzw. 1,5% an der Gesamtionisation beteiligt sind.

II. Die in Spalte 9 der Tabelle 27 mitgeteilten Zahlen S für die sekundären + tertiären Träger, die ein Primärelektron bestimmter Geschwindigkeit auf seiner ganzen Bahn in Luft von Atmosphärendruck durchschnittlich auslöst, sind von Lenard aus anderen, experimentell gewonnenen Größen berechnet, so daß sich alle Unsicherheiten der letzteren in den Werten S häufen, worauf Lenard schon selbst hinweist.

5. Die Energiemessung der Röntgenstrahlen durch ihre Wärmewirkung bei der Absorption und die Ionisation.

Nehmen wir an, es falle Röntgenstrahlung durch ein festes Medium. Dann wird sie geschwächt: ein Teil wird gestreut, ein anderer Teil wird absorbiert und hierbei in charakteristische Sekundärstrahlung und in kinetische Energie von Elektronen umgesetzt. Je nach der Härte der Röntgenstrahlen einerseits und je nach der Gestalt und der Stellung des Absorbens im periodischen System anderseits muß ein gewisser Teil dieser in neue Formen übergegangenen Energie aus dem Absorbenten wieder austreten; ein anderer Bruchteil aber wird in ihm absorbiert bleiben, und dieser äußert sich in Erwärmung des Absorbenten. Aus dieser in ihm entwickelten Wärmeenergie kann man dann auf die Energie der Röntgenstrahlen schließen, wenn man weiß, welcher Bruchteil der Energie sich durch Wiederentweichen aus dem Absorbenten der Messung entzieht. Die Bestimmung gerade dieses Bruchteiles ist um so schwieriger, je härter die Röntgenstrahlung ist.

Die Wärmewirkung der Röntgenstrahlen ist von verschiedenen Forschern gemessen worden. Sie ist außerordentlich gering. So sind beispielsweise nach Behnken etwa 3 Stunden erforderlich, um ein Stück Platin von 1 mm Dicke in 50 cm Abstand vom Brennfleck um $^1/_{1000}{}^0$ C zu erwärmen. Der Nachweis solcher geringer Wärmeenergien stellt hohe Anforderungen an die Meßkunst. Aus diesen Gründen gestaltet sich die Energiemessung der Röntgenstrahlen auf kalorimetrischem Wege äußerst schwierig.

In diesem Zusammenhange sind diejenigen Messungen von Interesse, bei denen die Wärmewirkung der Röntgenstrahlen und die durch sie hervorgerufene Ionisation der Luft miteinander verglichen wurden. Als erster führte dies Angerer durch, leider aber nur für dasselbe Strahlengemisch bei verschiedener Intensität. Seine Messungen lieferten aber das wichtige Ergebnis, daß bei derselben Wellenlänge die gemessene Ionisation der Energie der Röntgenstrahlen proportional ist, ein Gesetz, das wir aus Gründen der Wahrscheinlichkeit allerdings bisher schon immer als gültig betrachtet haben. Boos arbeitete ebenfalls bolometrisch und dehnte seine Versuche durch Filterung desselben Strahlengemisches auf Röntgenstrahlen verschiedener mittlerer Härte aus. Er bediente sich einer Ionisationskammer, die Holthusens Forderungen genügt. Die genauesten Untersuchungen in dieser Richtung sind ganz neu und wurden von Grebe und Kriegesmann unternommen. Diese brachten eine Bleiplatte, in der ihre Strahlung zum größten Teile absorbiert wurde, in ein Dewargefäß. Dieses stand durch eine Kapillare mit einem zweiten, gleichartigen in Verbindung, in dem sich eine ebensolche Bleiplatte befand, welche durch einen elektrischen Strom geheizt werden konnte. In der Kapillare saß ein Flüssigkeitstropfen, der durch seine Bewegung nach der einen oder anderen Seite eine Ungleichheit der Erwärmung der Luft in dem einen oder anderen Gefäße anzeigte. Blieb der Tropfen stehen, so war die Erwärmung in beiden Gefäßen die gleiche. Die Einstellung des Tropfens wurde durch ein Mikroskop von hundertfacher Vergrößerung beobachtet. Wurde die durch die Röntgenstrahlen in dem einen Blei-

Tabelle 42. Energie und Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen nach Grebe und Kriegesmann.

Röhrenspannung in kV	Mittlere Wellenlänge, bestimmt aus Absorption in Kupfer, λ in A	Energie in willkürlichen Einheiten, bestimmt durch Kalorimeter E	Ionisation in willkürlichen Einheiten, beobachtet an Holthusen-Kamera J	Ionisation bei gleicher Energie der Röntgenstrahlen $\frac{J}{E}$	Ionenzahl pro ccm Luft bei Strahlenintensität von 1 Erg pro qcm	Massenabsorptionskoeffizient für Luft $\frac{\mu}{\rho}$	Energieverbrauch pro erzeugtes Ionenpaar in Luft Erg	Relative Ionisation bei gleicher in Luft absorbierter Röntgenenergie
1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	0,397	169	354	2,09	$1{,}89 \cdot 10^6$	0,170	$13{,}87 \cdot 10^{-11}$	722
60	0,333	400	404	1,01	$0{,}91 \cdot 10^6$	0,109	$16{,}57 \cdot 10^{-11}$	600
70	0,275	900	378	0,42	$0{,}38 \cdot 10^6$	0,072	$25{,}15 \cdot 10^{-11}$	398
80	0,205	2210	420	0,19	$0{,}17 \cdot 10^6$	0,043	$35{,}42 \cdot 10^{-11}$	382
100	0,166	5320	671	0,126	$0{,}11 \cdot 10^6$	0,032	$44{,}77 \cdot 10^{-11}$	224

stück hervorgerufene Wärme durch die von dem elektrischen Strom in dem anderen Bleistück erzeugte Wärme gerade kompensiert, so war, da die Erwärmung durch elektrischen Strom dem Quadrat der Stromstärke proportional ist, dieses Quadrat der Stromstärke ein Maß für die Energie der absorbierten Röntgenstrahlung. Die gleiche Strahlung wurde außerdem zur Ionisierung der Luft in einer großen Kammer mit leichtatomigen Wänden benutzt, welche Holthusens Forderung entsprach, so daß das Verhältnis der Energie zur Ionisation bestimmt werden konnte. Durch Änderung der Röhrenspannung und der Dicke der Kupferfilterung wurde die mittlere Härte des Strahlengemisches variiert. Für das Reststrahlengemisch wurde der Massenschwächungskoeffizient in Kupfer bestimmt und mit seiner Hilfe aus den Messungen Richtmyers die mittlere Wellenlänge des Reststrahlengemisches festgelegt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 42 in Spalte 2. Die Spalten 3 und 4 geben die durch kalorimetrische Messung bestimmte Energie der Röntgenstrahlen in willkürlichen Einheiten sowie die von ihnen in einer Holthusen-Kammer erzeugte Ionisation. Das Verhältnis dieser Werte in Spalte 5 liefert die Ionisation durch Röntgenstrahlen gleicher Energie, aber verschiedener Wellenlänge; und in Spalte 6 sind diese Werte mit einem konstanten Faktor multipliziert, der durch die konstruktionellen Ausmaße der Anordnung bedingt wird, so daß man die Ionenzahl erhält, die Röntgenstrahlen von 1 Erg pro Quadratzentimeter in 1 ccm Luft erzeugen. Damit ist eine Ionisationskammer, die Holthusens 3 Forderungen entspricht, empirisch als Energiemeßinstrument geeicht.

Noch schwieriger als diese Eichung einer Ionisationskammer als Energiemeßinstrument ist die Aufgabe, die erzeugte Ionisation zu der hierfür erforderlichen, in der Luft der Kammer absorbierten Röntgenenergie verschiedener Wellenlänge in Beziehung zu setzen, denn dazu wird die Kenntnis der Absorptionskoeffizienten von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge in Luft vorausgesetzt. Grebe und Kriegesmann haben auch diese Untersuchung durchgeführt. Sie haben dabei angenommen, daß die Streuung entsprechend einer Formel Comptons mit der Wellenlänge abnimmt (vgl. III. Kap.). Mit Hilfe der Messungen des Schwächungskoeffizienten leichtatomiger Substanzen von Richtmyer und Hewlett haben sie so die in Spalte 7 mitgeteilten Massenabsorptionskoeffizienten für Luft ermittelt und erhalten für diese in Spalte 8 den Verbrauch von Röntgenenergie in Erg, der zur Erzeugung eines Trägerpaares in Luft erforderlich ist. Die Ordinaten der gekrümmten Kurve in Abb. 37 sind den Werten der Spalte 8 proportional. Der Wert für 0,56 Å wurde von Boos gewonnen; er schließt sich den Messungen von Grebe and Kriegesmann gut an. Das hier mitgeteilte Zahlenmaterial verdankt der Verfasser einer freundlichen persönlichen Mitteilung des Herrn Grebe, wofür ihm ganz besonders gedankt sei.

Die reziproken Werte der Spalte 8 gibt Spalte 9. Sie stellen, abgesehen von einem konstanten Zahlenfaktor, die Ionisation dar, die bei gleicher, in Luft absorbierter Röntgenenergie entsteht. Man kann diese mit den Werten von Spalte 3 der Tabelle 40 vergleichen, welche dasselbe nach Holthusens Theorie liefert. Hierbei zeigt sich in der Tat gerade der umgekehrte Gang der Ionisation mit der Wellenlänge. Nach Grebe findet die Abweichung zwischen Holthusens Theorie und dem experimentellen Befunde durch den Compton-Effekt ihre Erklärung. Wie wir im III. Kapitel sahen, wird gerade bei den kürzeren Wellenlängen das Auftreten von Rückstoßelektronen immer wahrscheinlicher und das von Primärelektronen durch den Absorptionsvorgang immer unwahrscheinlicher. Wird die gleiche Röntgenenergie einmal in eine Anzahl schneller Primärelektronen, das andere Mal in eine entsprechend größere Anzahl langsamer Elektronen umgesetzt, so kommt den schnelleren die größere, den langsamen die kleinere ionisierende Wirkung zu, wie aus Spalte 3 der Tabelle 40 hervorgeht. Wird also für harte Röntgenstrahlen der mit

dem Streuvorgang verbundene Energieverbrauch immer wahrscheinlicher, dem die Rückstoßelektronen mit ihrer geringen ionisierenden Kraft ihre kinetische Energie zu verdanken haben, während der Energieverbrauch zur Bildung schneller Primärelektronen beim „wahren Absorptionsvorgang" mit ihrer großen Ausbeute an sekundären und tertiären Trägern immer seltener wird, so kann hierdurch ein Gang der Ionisation mit der Wellenlänge bedingt werden, der demjenigen von Holthusens Theorie entgegengesetzt ist. Nach den Messungen von Boos und denen von Grebe und Kriegesmann überwiegt in dem untersuchten Bereiche für Wellenlängen bis herab zu 0,17 Å der erstere. Es ist indessen, besonders nach den Untersuchungen von Fricke und Glasser (III. Kapitel) sehr wahrscheinlich, daß mit weiterer Härtesteigerung eine Umkehr eintritt.

In neuester Zeit hat Bouwers die Energie E der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge auf bolometrischem Wege gemessen und sie mit der Schwärzung s der photographischen Platte durch Röntgenstrahlen verglichen. Weiterhin haben Berthold und Glocker die Ionisation J der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge in einer Holthusenkammer mit der Schwärzung s der photographischen Platte verglichen. Ihre Ergebnisse, bezogen auf gleiche in der Kammer und in der Platte absorbierte Energie, zeigt Abb. 126. Da auch Bouwers' Messungen auf die in der Platte absorbierte Energie bezogen sind, so braucht man nur seine Bestimmung von E/s mit derjenigen von s/J durch Berthold und Glocker zu multiplizieren, um den Verbrauch an Röntgenenergie verschiedener Wellenlänge zur Erzeugung gleicher Ionisation E/J zu erhalten. Der Vergleich dieses Ergebnisses mit demjenigen von Grebe und Kriegesmann ist von großem Interesse und wurde von Berthold und Glocker durchgeführt. Abb. 37 zeigt die Kurve von Grebe und Kriegesmann einerseits und andererseits das Ergebnis von Bouwers-Berthold-Glocker. Während nach diesen die für dieselbe Ionisation erforderliche Röntgenenergie unabhängig von der Wellenlänge ist, ändert sie sich nach Grebe und Kriegesmann im gleichen Wellenlängenbereich im Verhältnis 1:8. Dieser völlige Mangel an Übereinstimmung mit größter Sorgfalt durchgeführter Messungen ist bisher noch unerklärlich. Er beweist, daß die Energiemessung der Röntgenstrahlen heute noch großen Schwierigkeiten begegnet, und daß dieses Problem noch nicht als gelöst gelten kann.

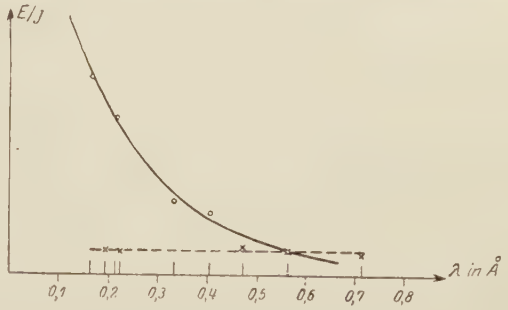


Abb. 37. Die zur Erzielung gleicher Ionisation nötige Röntgenenergie verschiedener Wellenlänge, einerseits nach Grebe und Kriegesmann (o o o o), anderseits nach Bouwers, Berthold und Glocker (× × × ×).

Neuntes Kapitel.

Die Standarddosimetrie.

1. Die Ursachen der Verwirrung in der heutigen Dosismessung.

Die Angaben verschiedener Dosimetergeräte, mögen sie auf der Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen oder auf einer anderen Wirkung derselben beruhen, lassen sich heute im allgemeinen nicht miteinander vergleichen. Hierfür sind drei Ursachen verantwortlich:

I. Verschiedenheit der Angaben verschiedener Geräte.

a) Fingerhutkammern. Wie die im VI. Kapitel besprochenen Untersuchungen von Friedrich und Glasser zeigen, können die Angaben einer Fingerhutkammer aus Aluminium und einer solchen aus Horn bei 0,16 Å einander gleich sein, während die erstere bei 0,25 Å 182% und bei 0,43 Å sogar 276% der Ionisation der letzteren aufweist (Abb. 20). Daß Kammergröße und Stiftlänge auch bei demselben Kammermaterial von großem Einfluß sind, zeigten Jaeger und Halberstäaedter (Abb. 28 und 29).

b) Große Kammern. Nach den Untersuchungen von Holthusen und von Berg, Schwerdtfeger und Thaller sind Gestalt und Material der Ionisationskammer von Einfluß auf die von verschieden harten Röntgenstrahlen hervorgerufene Ionisation (Tabelle 35 und 38).

c) Große Kammer und Fingerhutkammer. Unter diesen Umständen erscheinen die Ergebnisse von Grebe und Martius selbstverständlich, nach welchen die Angaben einer großen und einer Fingerhutkammer einen erheblichen Gang mit der Wellenlänge der Röntgenstrahlen aufweisen (Tabelle 30).

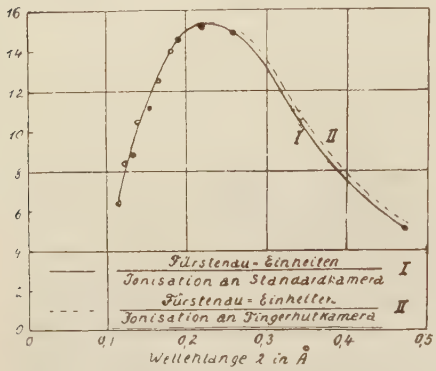


Abb. 38. Relative Wellenlängenempfindlichkeit der Selenzelle, großer Ionisationskammer und Fingerhutkammer aus Kohle nach Küstner.

d) Andere Dosimeterverfahren. Wenn schon die Angaben der einzelnen Ionisationsgeräte untereinander so große Unterschiede zeigen, so kann es nicht wunder nehmen, daß zwischen dem Ionisationsverfahren und anderen Verfahren ebenfalls erhebliche Abweichungen vorhanden sind. Als Beispiel mögen hier die Messungen des Verfassers dienen, der die auf der Leitfähigkeitsänderung des Selen beruhenden Angaben des Fürstenau-Intensimeters mit der Ionisation an einer großen Kammer und einer Fingerhutkammer, beide aus Kohle, verglich (Abb. 38). Setzt man die Angaben beider Geräte bei 0,12 Å gleich 100%, so zeigt das Fürstenau-Intensimeter bei 0,22 Å etwa 200%, bei 0,47 Å etwa 70% der mit der Ionisationskammer gemessenen Intensität an.

II. Verschiedenheit der Einheit.

a) Verschiedene Werte derselben Einheit. Da das Ziel der Bestrahlung die biologische Wirkung ist, so ist die von Seitz und Wintz eingeführte „Hauteinheitsdosis" oder H.E.D. sehr verbreitet. Man erkennt sie an einer Rötung der bestrahlten Hautoberfläche. Ein exakteres Verfahren, um den Grad dieser Rötung zu messen, etwa wie das von Hausser und Vahle oder der hierauf gegründete Rötungsmesser von Frickenrath, haben sich leider noch keine weitere Verbreitung in der Praxis verschaffen können. Daher ist bisher der Willkür in der Beurteilung des Rötungsgrades ziemlich viel Spielraum gelassen. So fanden Grebe und Martius, die mit einem transportablen Ionisationsgerät die H.E.D.-Werte verschiedener Institute untereinander verglichen, Unterschiede zwischen 100 und 390%, d. h. fast das Verhältnis 1 : 4!

Neben diesem experimentellen Befunde können wir eine auf theoretischer Grundlage ermittelte Zusammenstellung Solomons setzen. Dieser rechnete die von verschiedenen Autoren gewählten und der Ionisationsmessung zugrunde gelegten Einheiten auf gemeinsames energetisches Einheitsmaß um. Dadurch wird es möglich, die Angaben der ver-

schiedenen Autoren, wieviel ihrer Einheiten zur Erreichung der H.E.D.-Dosis erforderlich sind, miteinander zu vergleichen. Hierfür ergeben sich mit Hilfe der Einheit von

Szillard	240000 erg
Friedrich	21500 „
Duane	215000 „
Dauvillier	30000 „
Solomon	250000 „

Die Angaben unterscheiden sich also teilweise um mehr als das Zehnfache!

Diese ungeheuerlichen Unterschiede sind sicher nur zu einem Teil auf die Unsicherheit bei der H.E.D.-Bestimmung zurückzuführen. Zum anderen Teil sind sie in Fehlerquellen begründet, welche in der Ionisationsmessung selbst zu suchen sind. So ist es höchst wahrscheinlich, daß manche der obigen Autoren in Wirklichkeit gar nicht die von den Röntgenstrahlen erzeugte, ihrer Definition entsprechende Elektrizitätsmenge maßen, sondern eine durch Wandwirkungsbeitrag oder Wirkungsausfall stark veränderte.

b) Beziehung verschiedener Einheiten zueinander. Da ein systematischer, experimenteller Vergleich der nach verschiedenen Einheiten arbeitenden verschiedenen Dosimeterverfahren noch nicht stattgefunden hat, so versteht im allgemeinen ein Dosimeterverfahren die Sprache des anderen nicht und die Angaben derselben lassen sich nicht auf einander beziehen.

III. Ungenauigkeit im Handel befindlicher Dosimetergeräte.

Es befinden sich heute noch zahlreiche Dosimeter im Handel, deren Genauigkeit den Anforderungen, die man an ein Dosimetergerät zu stellen hat, in keiner Weise genügen. Als typisches Beispiel hierfür diene das Kienböck-Quantimeter. Schon Krönig und Friedrich fanden, daß erst bei Dosisunterschieden von 50% eine Schwärzungsdifferenz der Kienböck-Streifen festgestellt werden konnte, und daß gleich belichtete Streifen Schwärzungsdifferenzen zeigten, die Dosisunterschieden von mehr als 50% entsprachen. Bei einer erneuten Nachprüfung des Verfassers fand sich sogar ein Dosisfehler von 267%. (Vergl. XX. Kapitel 2.) Trotz dieser Veröffentlichungen in der Fachliteratur wird das Kienböck-Quantimeter auch heute noch ohne Bedenken ruhig weiter in den Handel gebracht und ärztlicherseits verwendet.

2. Das Prinzip der Standarddosimetrie.

Dieses Durcheinander veranlaßte den Verfasser, der Deutschen Röntgen-Gesellschaft auf dem Kongreß 1923 den Vorschlag zu unterbreiten, die Vereinheitlichung der Dosismessung zu organisieren. Es ist durchaus zu erwarten, daß die Durchführung dieses Planes einerseits einen Rückgang der Verbrennungen, anderseits eine Steigerung der Heilerfolge mit sich bringt.

Schon im Jahre 1920 hatte Dietlen den Vorschlag gemacht, Röntgenmaschinen vor ihrer Inbetriebnahme an Ort und Stelle durch eine Kommission mit Hilfe transportabler Geräte eichen zu lassen, die an ein Standardgerät angeschlossen sein sollten. Als Einheit sollte die im Friedrichschen c gemessene H.E.D. dienen. Hierdurch sollte der Röntgenarzt von der Verantwortung für die eigene Dosismessung bis zu einem gewissen Grade entlastet werden. Dieses Vorgehen setzt aber voraus, daß die Apparatur innerhalb der bei der Eichung berücksichtigten Betriebsbedingungen zeitlich reproduzierbare Röntgenstrahlung liefert. Wie wir im XI. Kapitel sehen werden, liegt hierin freilich eine große Gefahr.

Aus diesem Grunde bewegte sich der Vorschlag des Verfassers in etwas anderer Richtung. Er hat allerdings jene Forderung zur Voraussetzung, die wir schon an die

Spitze unserer Betrachtungen setzten, daß jeder, der Röntgentherapie betreibt, unbedingt über ein Dosimeter verfügen und mit seiner Handhabung so vertraut sein muß, daß er einwandfreie Messungen auszuführen vermag. Damit ist das ganze Problem auf die Aufgabe zurückgeführt, das im täglichen Gebrauch befindliche Dosimetergerät nach einer allgemein eingeführten Einheit zu eichen und es auf seine Zuverlässigkeit zu prüfen. Um dies durchführen zu können, wurde in Übereinstimmung mit Dietlen der Bau eines Standarddosimetergeräts gefordert, dessen Empfindlichkeit unbedingt keinen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist.

Dieses soll, unverrückbar fest an einem Orte aufbewahrt, der Eichung aller im Gebrauch befindlichen Dosimetergeräte dienen, ebenso wie man in Paris das Normalmeter aufbewahrt, nach dem die Metermaßstäbe der Kulturstaaten geeicht sind. Nach dem festen Standdarddosimetergerät sollen transportable Geräte geeicht werden, die man an die verschiedenen Institute bringt, um die dort gebrauchten Dosimeter zu eichen und sie so an das Standardgerät anzuschließen. Nach erfolgter Eichung können die transportablen Geräte daselbst verbleiben oder zum Standardgerät zurückgebracht werden. Die Wahl der Standardeinheit selbst wurde, als für die Praxis belanglos, zunächst offen gelassen.

Auf diesem Wege begegnet man wirkungsvoll den obengenannten Mängeln unserer Dosimetergeräte:

I. Alle durch die Eichung an das Standardgerät angeschlossenen Gebrauchsgeräte sind auch ganz von selbst untereinander geeicht: jedes versteht die Sprache des anderen. Der Arzt ist nunmehr in der Lage, die von einem Kollegen begonnene Behandlung fortzusetzen; er vermag seine Ergebnisse anderen mitzuteilen und die Erfolge anderer für sich nutzbar zu machen.

II. Durch die fachkundige Eichung der an verschiedenen Instituten gebrauchten Dosimetergeräte läßt sich darüber entscheiden, ob jedes einzelne derselben den unbedingt nötigen Forderungen an Meßgenauigkeit und zeitliche Konstanz der Empfindlichkeit genügt.

Die Deutsche Röntgen-Gesellschaft hat einen Ausschuß gegründet, der sich die Verwirklichung dieses Planes zur Aufgabe machte und den Verfasser mit der experimentellen Durchführung betraute.

3. Die Forderungen der Praxis und Forschung an die Standarddosimetrie.

Wir müssen zwei Aufgaben der Standarddosimetrie unterscheiden: die für den Praktiker und die für den Forscher.

I. Der Praktiker will die Röntgenstrahlen als Medikament benutzen. Ihm kommt es darauf an, eine bestimmte Dosis, die auf Grund gewonnener Erfahrung bei einer bestimmten Krankheit heilend wirkt, dem Patienten zuzuführen. Für ihn heißt dosieren: ein Strahlengemisch bestimmter Zusammensetzung und Intensität während einer bestimmten Zeit einem bestimmten Krankheitsherde zuführen. Der Praktiker stellt der Dosimetrie also die Aufgabe, zu reproduzieren.

Für den Praktiker ist daher die Wahl der Einheit völlig belanglos. Er ist mit jeder Einheit zufrieden, wenn sie nur allgemein eingeführt wird, so daß er auch die Dosen anderer Praktiker bei sich und die eigenen zeitlich nacheinander reproduzieren kann.

II. Der Forscher will feststellen, in welcher Weise sich das Walten der Natur vollzieht zwischen Einstrahlung von Röntgenenergie einerseits und zwischen biologischer, physikalischer und chemischer Wirkung anderseits. Kennt er die Vorgänge im einzelnen, so will er sie mit anderen wissenschaftlichen Erfahrungen verknüpfen und so neue Wege weisen zu neuen Erfolgen. Aber alle diese Wirkungen be-

ruhen allein auf der Umwandlung der Röntgenenergie in andere Energieformen. Der Forscher stellt der Dosimetrie also außer der Aufgabe, zu reproduzieren, noch die, die Energie der Röntgenstrahlen zu messen.

Nach I müssen Einheiten gewählt werden für die Zeit, für die Intensität der Röntgenstrahlen und für die Härte des Strahlengemisches. Wir wollen uns nun mit der Wahl derselben im einzelnen befassen.

4. Die Zeiteinheit.

Die Zeit läßt sich mit völlig hinreichender Genauigkeit nach der international festgelegten Einheit von 1 Minute = 60 Sekunden messen.

5. Die Intensitäts- und Dosiseinheit.

Bei der oben erwähnten Schwierigkeit, eine biologische Einheit scharf festzulegen, und ebenso nach den grundlegenden Untersuchungen von Krönig und Friedrich konnte kein Zweifel bestehen, daß eine physikalische Einheit für die Intensität zu wählen sei. Zu der Zeit, als der Verfasser die Standarddosismessung vorschlug, war weder die Messung der reinen Luftionisation noch die Energiemessung der Röntgenstrahlen so weit gefördert wie heute. Es war daher das Gegebene, die Unterstützung der Forschung hintanzusetzen und zunächst den Bedürfnissen des Praktikers gerecht zu werden. Der Verfasser schlug aus diesem Grunde vor, die Empfindlichkeit des Standardgerätes selbst als Einheit zu wählen. Dieser Vorschlag bietet eine Reihe von Vorteilen:

I. Alle Konstruktionsprinzipien für den Bau des Standardgerätes können sich der Aufgabe höchster Genauigkeit und Empfindlichkeit sowie zeitlicher Konstanz der Empfindlichkeit unterordnen und brauchen durch keine Rücksichten auf Nebenumstände, wie Ausnutzung reiner Luftionisation, beschränkt zu werden.

II. Die einzelnen Institute können auch nach ihrem Anschluß an das Standardgerät die bei ihnen gebräuchliche Einheit (z. B. starke oder schwache Erythemdosis) beibehalten, wenn sie nur ihre Angaben in Standardeinheiten machen.

III. Die Eichung nach energetischer Einheit bleibt unter allen Umständen das Ziel der Röntgendosismessung. Aber die experimentelle Durchführung der Energiemessung der Röntgenstrahlen kann an anderer Stelle erfolgen. Sie wird bewußt von der medizinisch-praktischen Standarddosismessung abgetrennt als ein Problem, das im Laboratorium zu bearbeiten ist. Hierdurch wird das Standardgerät für die Eichung nach energetischer Einheit gleichsam freigehalten. Sobald die Energiemessung der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge mit hinreichender Genauigkeit und Zuverlässigkeit durchgeführt ist, kann das Standardgerät ebenfalls nach energetischer Einheit geeicht werden.

IV. Hierbei werden, ohne Vornahme weiterer Messungen, alle Dosimetergeräte, die bereits an das Standardgerät angeschlossen sind, ebenfalls nach energetischer Einheit geeicht, wozu es nur einer Bekanntmachung der Eichkurve bedarf.

Nach unserer Definition im V. Kapitel verstehen wir unter „Intensität" J der Röntgenstrahlen diejenige Energie E, die in der Zeit t durch die zur Strahlrichtung senkrechte Fläche F geht. Es ist also

$$J = \frac{E}{F \cdot t}. \tag{76}$$

Setzen wir F = 1 qcm, t = 1 sek., so wird J = E, d. h. die Intensität einer Röntgenstrahlung ist gleich der Energie, welche in der Sekunde durch die zur Strahlrichtung senkrechte Fläche von 1 qcm tritt.

Intensität und Energie sind also durch eine sehr einfache Beziehung miteinander verbunden. Wir können daher auch die Intensitäten zweier Röntgenstrahlbündel verschiedener Wellenlänge nur dann miteinander vergleichen, wenn wir ihre Energie messen können. Es scheint am Platze, dies ausdrücklich zu betonen, da man den Begriff „Intensität" vielfach gebraucht, anscheinend ohne sich dieses Umstandes recht bewußt zu sein. Insbesondere können die von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge hervorgerufenen Ionisationen auch bei Verwendung einer Holthusenschen oder einer Druckluftkammer niemals ein absolutes, sondern nur ein relatives Intensitätsmaß liefern, da nach Tabelle 42 Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, aber gleicher Energie, verschiedene Ionisationsfähigkeit besitzen.

Auf Grund der durchaus richtigen Anschauung, daß nur derjenige Anteil der Röntgenenergie, der im Körper absorbiert wird, in diesem eine Wirkung hervorbringen kann, definierte Christen die Dosis folgendermaßen:

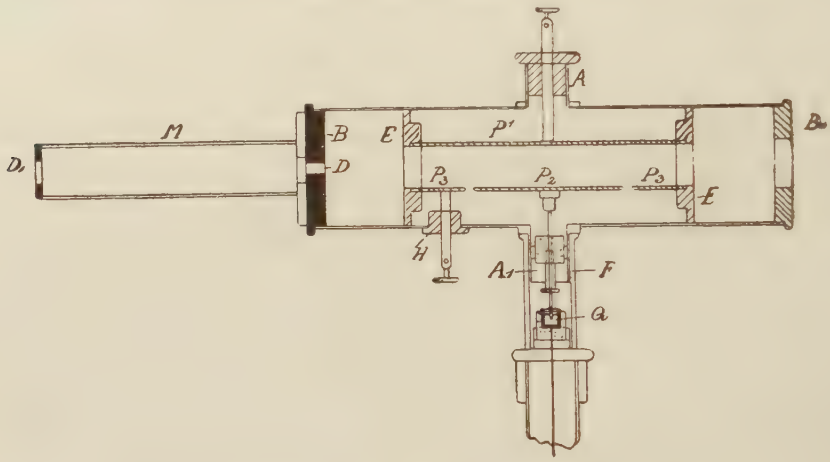


Abb. 39. Ionisationskammer nach Krönig und Friedrich.

„Die physikalische Dosis ist gleich derjenigen Röntgenenergie, welche in einem Körperelement absorbiert wird, dividiert durch das Volumen dieses Körpers."

Nach Christen ist also die Dosis D

$$D = \frac{E_A}{V}, \tag{77}$$

wobei V das Volumen des Körpers ist, welches die Energie E_A absorbiert. Die Einführung des Christenschen Dosisbegriffes hat also die Möglichkeit, die Energie der Röntgenstrahlen zu messen, zur Voraussetzung.

Die Unlösbarkeit dieser Aufgabe veranlaßte 1910 Szillard, den Dosisbegriff Christens zu verlassen, um statt von der absorbierten Energie von der durch die Röntgenstrahlen hervorgerufenen Luftionisation auszugehen. Hierauf fußen die grundlegenden Untersuchungen von Krönig und Friedrich. Diese bedienten sich einer Ionisationskammer, die im Schnitt in Abb. 39 wiedergegeben ist. Das Prinzip der Kammer, die Ionisation in einem meßbaren Luftvolumen zu bestimmen, war folgendes: Das Strahlenbündel tritt, durch zwei Blenden D_1 und D begrenzt, in die Ionisationskammer ein. Der Querschnitt der in der Ionisationskammer von den Strahlen durchsetzten Luftsäule ist durch den Flächeninhalt des kleineren Blendenloches D gegeben. Die Elektroden der Ionisationskammer sind parallel der Strahlenrichtung so angebracht, daß sie nicht von Strahlen getroffen werden. Die Längenbegrenzung der durch-

setzten Luftsäule, die zur Messung der Ionisation dienen soll, wird dadurch erreicht, daß vor und hinter der zur Messung dienenden Elektrode P_2 je eine Hilfselektrode P_3 angebracht ist, die P_1 gegenüber auf die gleiche Spannung gebracht wird wie P_2. Die Elektroden bestehen aus Aluminiumblech und haben einen Abstand von 2 cm. Krönig und Friedrich definierten die Dosis wie folgt:

„Einheit der Dosis ist diejenige Strahlenmenge, die in 1 ccm Luft durch die Ionisation eine Elektrizitätsmenge von 1 elektrostatischen Einheit bei Sättigungsstrom transportiert, wobei unter elektrostatischer Einheit diejenige Elektrizitätsmenge verstanden wird, die einen Leiter von der Kapazität 1 (1 cm) auf die Einheit des Potentials (300 Volt) auflädt. Sie wird nach Kohlrausch mit einem kleinen deutschen e bezeichnet.“

Heute wissen wir, daß dies keine hinlängliche Definition ist, da sich die ionisierenden Vorgänge im wesentlichen in der Umgebung dieses durchstrahlten Kubikzentimeters abspielen. Die Ionisation wird also von der Umgebung, der Kammergröße und dem Kammermaterial beeinflußt. Die Definition wäre eine vollständige, wenn Krönig und Friedrich gesagt hätten: „Einheit der Dosis ist diejenige Strahlenmenge, die bei der von uns benutzten wohldefinierten Kammer in 1 ccm Luft . . usf.“ Wollte man obige Definition dahin abändern, so würde die Schwierigkeit entstehen, daß neben jene bereits in der Literatur verbreitete Definition eine zweite für e gestellt würde, was zu Verwechslungen Anlaß geben würde.

Inzwischen ist dank der Arbeiten von Becker, Holthusen, Berg, Schwerdtfeger, Thaller und Behnken die Messung der reinen Luftionisation so ausgebaut worden, daß sich, bei hinreichender Vorsicht, z. B. bei Messung mit einer Druckluftkammer, alle Fehlerquellen ausschalten lassen. Der Standardausschuß der Deutschen Röntgen-Gesellschaft hat deshalb vorgeschlagen, folgende Einheit für die Dosismessung zu wählen:

„Die absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis wird von derjenigen Röntgenstrahlenenergiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von 1 ccm Luft von 18^0 C Temperatur und 760 mm Quecksilber Druck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Die Einheit der Dosis wird ‚1 Röntgen‘ genannt und mit ‚R‘ bezeichnet.“

Die Deutsche Röntgen-Gesellschaft hat auf dem Kongreß 1924 dementsprechend den Beschluß gefaßt:

„Auf diese Einheit soll in allen Publikationen Bezug genommen werden. Alle Institute werden aufgefordert, sich nach dieser Einheit in ihren Arbeiten und Veröffentlichungen zu richten.“

Durch diesen Entschluß hat man sich dafür entschieden, die Einheit auf die gleichsam in Reinkultur gezüchtete Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen an Luft aufzubauen.

Um allen Mißverständnissen vorzubeugen, sei nochmals ausdrücklich betont, daß Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, die dieselbe absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis „R“ liefern, verschiedene Energie besitzen; denn wie Tabelle 42 lehrt, haben Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, aber gleicher Energie verschiedene ionisierende Wirkung; also müssen sie auch bei gleicher ionisierender Wirkung verschiedene Energie besitzen. Die Christensche physikalische Dosis, welche sich auf die im Körper absorbierte Energie bezieht, ist damit endgültig verlassen.

Die Einheit „R“, für deren allgemeine Einführung wir uns entschieden haben, gründet sich auf die Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen, nicht auf deren Energie.

Wir kommen demnach, entsprechend dem unter 3 I Gesagten, allein dem Bedürfnis des Praktikers entgegen, dessen Wunsch es ist, zu reproduzieren. Da hierfür aber die Wahl der Einheit völlig belanglos ist, wird seinen Bedürfnissen vollauf Genüge getan.

Um in einem Krankheitsherde eine bestimmte Wirkung zu erzielen, wird es nötig sein, diesem eine bestimmte Anzahl „R" zuzuführen. Diese Zahl können wir, in Anlehnung an einen Vorschlag Christens, als den Sensibilitätskoeffizienten bezeichnen. Dieser wird verschieden sein höchstwahrscheinlich je nach der Härte der Strahlen und sicher je nach der Art des biologischen Objektes. Vielleicht treten auch noch andere Faktoren ins Spiel. Ihn zu ermitteln, bedarf es der tätigen Mitarbeit aller, die Röntgentherapie treiben. Nur auf der Grundlage der Standarddosismessung können alle Kräfte hierzu nutzbar gemacht werden.

Für den Forscher ist jene Frage von besonderem Interesse, die wir schon im VIII. Kapitel aufgeworfen haben: „Besitzt harte oder weiche Röntgenstrahlung bei einem bestimmten Objekt größere biologische Wirkung, wenn in beiden Fällen dieselbe Röntgenenergie absorbiert wurde?" Es ist heute ein heftiger Streit darüber entbrannt, ob hier ein Einfluß der Wellenlänge zu erwarten sei. Die Entscheidung vermag allein das Experiment zu erbringen.

Trotzdem sei ausdrücklich betont, daß es verfrüht wäre, wollte man die zu messenden Sensibilitätskoeffizienten auf die heute vorliegende Energiemessung der Röntgenstrahlen und nicht auf „R" gründen. Denn die Ergebnisse der Energiemessung sind, wie wir im VIII. Kapitel sahen, noch sehr widerspruchsvoll und unsicher. Demgegenüber stellt die Ionisationsmessung von „R" eine wohldurchgearbeitete Meßmethode dar, von der, auch bei weiterer Verbesserung, keine so großen Änderungen zu erwarten sind wie von der Energiemessung. Daß es trotzdem möglich ist, die Dosimeter außer in „R" nach widerspruchsfrei geglückter Energiemessung durch Vergleich auch als Energiemesser zu eichen und, unbeschadet der im Gebrauch befindlichen „R"-Einheit, die Fortschritte der Energiemessung auf die geeichten Dosimeter ohne Vornahme neuer Eichungen zu übertragen, ist ein besonderer Vorzug unseres Systems der Standarddosismessung.

Wir können aber schon heute eine Konsequenz an diese Überlegung knüpfen. Sollte sich ergeben, daß die biologische Wirkung nur von der Art des Einzelobjekts und von der Größe der absorbierten Röntgenenergie, nicht aber von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen abhängt, so wären solche Sensibilitätskoeffizienten, die man auf die Einheit der absorbierten Energie bezieht, allein von Objekt zu Objekt verschieden. Das wäre allerdings ein außerordentlicher Vorteil gegenüber unseren oben eingeführten Sensibilitätskoeffizienten, die sich an „R", also an die Ionisation der Röntgenstrahlen, anlehnen, und die deshalb nicht allein von Objekt zu Objekt, sondern außerdem auch von Wellenlänge zu Wellenlänge verschieden sein müssen. Die Zahl der verschiedenen Sensibilitätskoeffizienten würde sich dann auf rund ein Zehntel reduzieren. Der Vorteil dieser Vereinfachung wäre so groß, daß die auf Ionisationswirkung beruhende Einheit „R" von der energetischen verdrängt werden dürfte.

6. Die Härtebestimmung.

In letzter Zeit hat sich der Spektralapparat zur Messung der Strahlenqualität mehr und mehr Eingang in die Medizin verschafft. Wenn ihm auch heute eine große Bedeutung für Versuche im Laboratorium zuzusprechen ist, so erweist er sich doch für die Strahlungen der Tiefentherapie in seiner heutigen technischen Durchführung, besonders bei Verwendung der photographischen oder einer subjektiven Methode zur Bestimmung der Qualität eines Strahlengemisches, für die Praxis als zu ungenau, wie

eingehende Untersuchungen des Verfassers gezeigt haben. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle näher hierauf einzugehen. Es kann daher nur soviel gesagt werden, daß der Spektralapparat zur Härtebestimmung für die Tiefentherapie in der medizinischen Praxis vorläufig nicht in Frage kommt.

Demgegenüber läßt sich ein Strahlengemisch bequem und für die Praxis hinreichend scharf bestimmen durch

Angabe des Antikathodenmetalls,
Angabe der Spannungsform,
Angabe der Filterung und
Messung der Halbwertschicht des Reststrahlengemisches mit bestimmtem Gerät.

Wir werden im XVIII. Kapitel auf diese Fragen eingehender zurückkommen.

7. Die Aufgaben der Standarddosimetrie.

Zwei Aufgaben wurden bereits an die Spitze unserer Ausführungen gestellt:

I. Eichung anderer Dosimeter nach „R" und, nach widerspruchsfreier Durchführung der Energiemessung, als Energiemeßinstrumente.

II. Prüfung ihrer Meßgenauigkeit und zeitlichen Konstanz der Empfindlichkeit.

Hierzu kommen die weiteren Aufgaben, die sich aus unseren Betrachtungen ergeben:

III. Die Messung reiner Luftionisation muß noch mit homogeneren und härteren Strahlengemischen angestrebt werden. Auch fordert die Wichtigkeit der Energiemessung, daß sie von verschiedenen Seiten, womöglich nach ganz verschiedenen Methoden, durchgeführt werde. So fällt der Standarddosismessung die weitere Aufgabe zu, die voneinander heute noch stark abweichenden Ergebnisse zueinander in Beziehung zu setzen, etwa ebenso, wie die fortschreitende Verbesserung der Atomgewichtszahlen jährlich bekanntgegeben wird.

IV. In möglichst enger Zusammenarbeit mit anderen klinischen Instituten müssen die Beziehungen zwischen „R" und der biologischen Wirkung für verschiedene Objekte und für verschieden harte Strahlen hergestellt werden (Sensibilitätskoeffizienten).

8. Die Konstruktion des Standardgerätes.

Es wurden vom Verfasser zwei Modelle des Standardgerätes gebaut. Diese sind einander fast gleich und besitzen bis auf geringe, noch erforderliche Verbesserungen bereits

Tabelle 43. Maße der Ionisationskammern bei den Standardgeräten 1 und 2.

Alle Längen in cm	Standardgerät 1	Standardgerät 2
Länge des Kohlezylinders K	26,5	30,5
Länge desselben mit Verschlüssen V	27,7	31,5
Lichte Länge des Kohlezylinders K (zwischen V)	25,5	29,0
Innerer Durchmesser des Kohlezylinders K	6,4	6,4
Äußerer Durchmesser des Kohlezylinders K	7,4	7,4
Dicke der Verschlüsse V	1,0	1,0 und 1,5
Lochdurchmesser an den Verschlüssen V	3,0	3,0
Abstand der inneren Kohlemembranen M	27,5	31,5
Abstand der äußeren Kohlemembranen	33,7	35,2
Länge der Stabelektrode A	19,3	23,3
Durchmesser der Stabelektrode A	0,5	0,5
Abstand der Stabelektrode A von der inneren Zylinderwand	2,0	2,0

die endgültige Form. Für ihre Durchführung waren folgende vier Gesichtspunkte maßgebend:

1. Die Methode darf in ihrer Empfindlichkeit keinen unkontrollierbaren Schwankungen unterworfen sein (Konstanz der Empfindlichkeit).

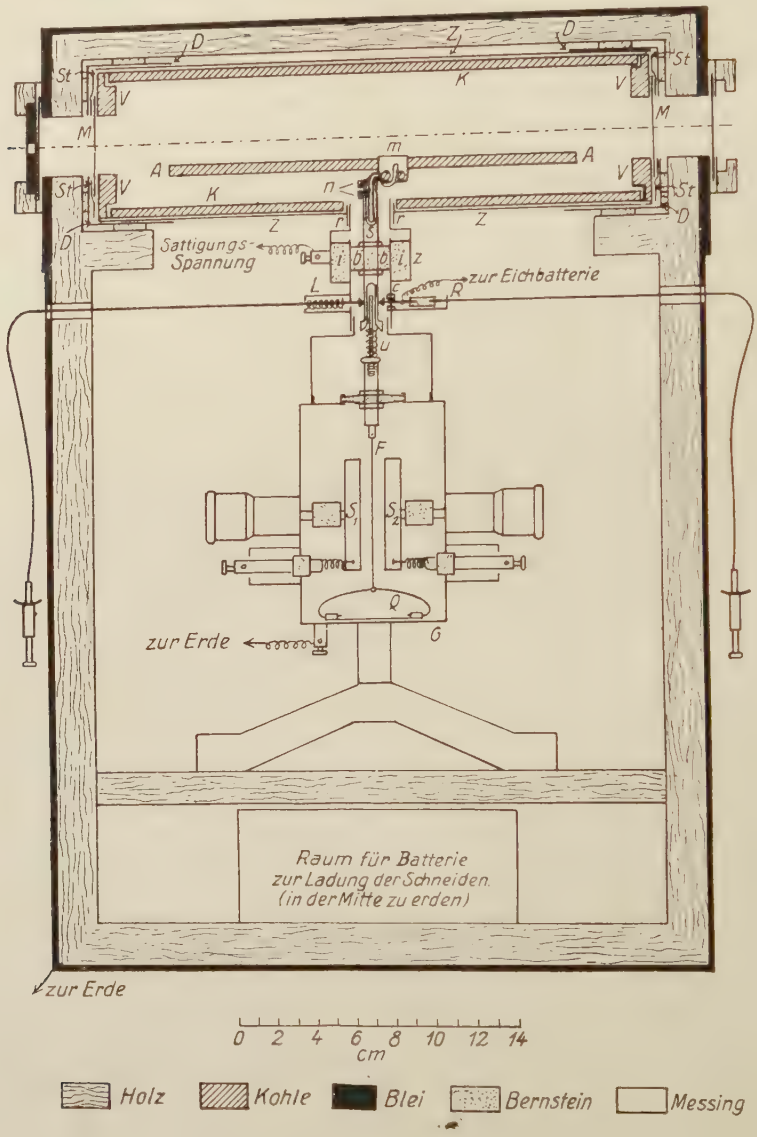


Abb. 40. Standardgerät nach Küstner.

II. Die Methode muß die empfindlichste von allen sein.

III. Die Methode muß die genaueste von allen sein.

IV. Die Messung und Eichung muß sich jederzeit schnell und bequem durchführen lassen.

Die Forderung I hatten wir an die Spitze unserer Ausführungen über das Prinzip der Standarddosimetrie gestellt. Die Forderungen II und III sind deshalb selbst-

verständlich, weil man von zwei Geräten immer mit Hilfe des empfindlicheren und genaueren das unempfindlichere und ungenauere eichen wird. Empfindlichkeit und Genauigkeit bilden den Maßstab für die Leistungsfähigkeit eines Meßgerätes. Als Standardgerät wird daher nur ein solches dienen können, von dem nicht anzunehmen ist, daß es in absehbarer Zeit in einem dieser zwei Punkte von einem anderen Gerät überholt werden wird. Die Forderung IV ist eine Betriebskostenfrage.

Das Standardgerät ist im Durchschnitt in Abb. 40 dargestellt. Die Maße der Ionisationskammern sind in Tabelle 43 mitgeteilt. Die Kammern sind mit Luft gefüllt. Um Auslösung von Elektronen durch Streustrahlung an den Kammerwänden nach Möglichkeit zu unterdrücken, besteht jede Ionisationskammer aus einem Kohlezylinder K. Die Innenelektrode bildet einen Kohlestab A, der exzentrisch achsenparallel angeordnet ist, so daß ihn das schmale, die Kammer axial durchsetzende Röntgenstrahlbündel nicht treffen kann. Dieses tritt ein und aus durch dünne Kohlemembranen M, deren Absorptionsvermögen für die in der Therapie gebräuchlichen Strahlengemische sehr klein ist. Die Kammer K wird durch eine Hochspannungsbatterie von etwa 160 Volt auf Sättigung geladen. Die ganze Anordnung ist von einem geerdeten, dicken Bleischutz umgeben, der elektrostatische Störungen und Dunkeleffekt, d. h. einen Ausschlag des Elektrometers bei Abblendung des Röntgenstrahlbündels unmittelbar vor der Kammer, ausschließt. Die Filter befinden sich in großem Abstande von der Ionisationskammer, so daß nur ein verschwindend kleiner Bruchteil der von ihnen ausgehenden Streustrahlung in die Kammer fallen kann.

Als Elektrometer dient das Einfadenelektrometer mit Schneiden veränderlichen Abstandes nach Lutz und Quarzfadenaufhängung veränderlich einstellbarer Spannung nach Wulff, welches den höchsten an ein Elektrometer zu stellenden Anforderungen genügt.

Die Kapazität der Anordnung läßt sich von Zeit zu Zeit, die Voltempfindlichkeit jederzeit, auch während der Messung, bequem und schnell kontrollieren.

Die Konstanz der Empfindlichkeit des Standardgerätes wurde bereits mit Hilfe des Radiums erwiesen, das bekanntlich eine sehr durchdringende Röntgenstrahlung, die γ-Strahlung, aussendet, die erst nach etwa 2000 Jahren auf die Hälfte ihrer Intensität sinkt. Diese praktisch konstante Strahlenquelle lieferte stets den gleichen Ausschlag, ein Beweis für die Konstanz der Empfindlichkeit des Standardgerätes.

Die Eichung des Standardgerätes nach „R" erfolgt durch Vergleich mit einer Druckluftkammer von Siemens & Halske. Eine solche wurde dem Göttinger Laboratorium für medizinische Physik, in dem sich die Standardgeräte befinden, und welches die Eichungen ausführt, in sehr dankenswerter Weise von der Firma Siemens & Halske zur Verfügung gestellt.

Zehntes Kapitel.

Die Strahlung unserer Röntgenröhren.

Die Strahlung, die von unseren Röntgenröhren ausgeht, ist nicht homogen; sie besteht vielmehr aus einem Strahlengemisch, dessen Homogenitätsgrad zwar durch die Art der Filterung mehr oder minder verändert werden kann, das sich aber niemals vollkommen homogen machen läßt.

Wie wir gesehen haben, ist die Empfindlichkeit der einzelnen Dosimetergeräte auf Röntgenstrahlen verschiedener Härte schon im Rahmen des Ionisationsverfahrens sehr verschieden. Die Härte des Röntgenstrahlgemisches ist also für die Dosismessung von Wichtigkeit. Ferner ist, worauf wir im XIX. Kapitel näher eingehen wollen, die Ver-

teilung der Strahlung in der Körpertiefe bei harten und weichen Strahlen infolge verschiedener Absorptions- und Streuungsverhältnisse derselben sehr verschieden. Die Qualität eines Strahlengemisches ist also auch für die Tiefendosierung von großer Bedeutung.

Beim Betriebe einer Röntgenmaschine und einer Röntgenröhre spielt eine große Anzahl von Faktoren eine wichtige Rolle. Unter diesen Faktoren sind solche, die für die Qualität und Quantität der Strahlung ausschlaggebend sind; andere wieder sind ohne jede Bedeutung. Aber gerade unter den letzteren sind solche, denen eine Zeitlang irrtümlicherweise in der Literatur ein Einfluß zugeschrieben wurde.

So ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, daß sich der Arzt darüber klar ist, welchen Faktoren ein Einfluß zukommt und welchen nicht; nur den ersten muß er seine Aufmerksamkeit zuwenden. Denn in der Praxis wird es nicht immer möglich sein, die Betriebsbedingungen genau konstant zu halten.

Aus diesem Grunde wollen wir uns mit den Gesetzen der vom Röntgenrohr ausgehenden Strahlungen beschäftigen.

Röntgenstrahlen sind kurzwellige Lichtstrahlen. Im Bereiche sichtbaren Lichtes sind uns zwei Arten von Spektren geläufig: die Linienspektren, die für die Elemente, die sie emittieren, charakteristisch sind — wir erinnern uns hier an die bekannten gelben D-Linien des Natriums — und das Regenbogenspektrum. Beide Arten von Spektren finden sich auch im Röntgengebiet: die charakteristische Strahlung der Antikathode und das kontinuierliche Röntgenspektrum.

I. Die charakteristische Strahlung der Antikathode.

Die Vorgänge beim Zustandekommen der Linien des charakteristischen Röntgenspektrums haben wir eingehend im V. Kapitel behandelt. Dort wurden auch in den Tabellen 22—24 die Wellenlängen der Linien der verschiedenen Serien in Å und in Abb. 15 eine Anzahl von Moseley aufgenommener Spektra der K-Serie verschiedener Antikathodenmetalle mitgeteilt.

1. Die charakteristische Strahlung technischer Röntgenröhren.

Die Antikathoden unserer technischen Röntgenröhren bestehen wohl ausnahmslos aus schweratomigen Elementen, wie Tantal, Wolfram oder Platin. Die kurzwelligste Linie der L-Serie, die von diesen Elementen dank einer nennenswerten Intensität noch in Frage kommen könnte, wäre die L_β-Linie von Platin. Aber auch sie ist noch langwelliger als 1 Å; ihr Anteil am Gesamtspektrum ist daher bei ungefilterter Strahlung allein schon infolge des Durchganges durch die Glaswand der Röntgenröhre verschwindend klein und bei Verwendung von $^1/_2$—1 mm Kupferfilter überhaupt nicht mehr nachweisbar. Es spielen daher allein die Linien der K-Serie bei der Gesamtintensität der Strahlung eine Rolle.

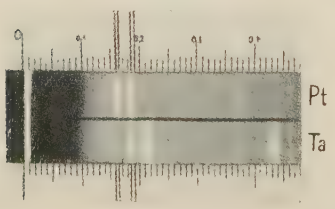


Abb. 41. Röntgenspektra von Tantal- und Platinantikathoden nach Seemann.

In Abb. 41 ist die Aufnahme eines Tantal- und eines Platinspektrums auf dieselbe Platte durch Seemann zur Wiedergabe gebracht. Die Skala zeigt die Wellenlängen in Å. Der Zahl 0 würde unendlich harte Strahlung entsprechen, die es in Wirklichkeit nicht gibt. (Die photographische Marke bei etwa 0,008 Å ist willkürlich.) Die Linien des Platin treten in erster Ordnung bei etwa 0,16 und 0,185 Å auf. Es ist nun eine Eigentümlichkeit aller

Spektralapparate, jede vorhandene Wellenlänge noch einmal in zweiter Ordnung wiederzugeben, wo sie in Wirklichkeit gar nicht existiert, nämlich an der Stelle, die ihrer doppelten Wellenlänge entspricht. In zweiter Ordnung ist aber das „Auflösungsvermögen" des Spektralapparates doppelt so groß; und so zeigt es sich, daß jede der beiden dicken Linien in erster Ordnung in Wirklichkeit aus zwei Linien besteht, die in erster Ordnung noch nicht aufgelöst sind: in zweiter Ordnung trennt man deutlich die γ-, β-, α- und α'-Linie der K-Serie (vgl. Tabelle 22).

Da Tantal und Platin im periodischen System um fünf Stellen auseinanderliegen, unterscheiden sich die Wellenlängen entsprechender Linien deutlich erkennbar um etwa 0,025 Å. Wolfram unterscheidet sich im periodischen System um eine Stelle vom Tantal; seine Linien liegen denen des Platins daher etwa um $^1/_5$ näher als die des Tantal.

2. Die Intensität der Spektrallinien in Abhängigkeit von der Spannung.

Wie wir im V. Kapitel sahen, ist zur Erzeugung charakteristischer Strahlung eine Mindestspannung nötig. Sie ist durch die Gleichung

$$\lambda_A \cdot V_A = 12{,}3 \qquad (78)$$

bestimmt, in der λ_A die Absorptionsbandkante bedeutet. Die K-Serie besitzt nur eine solche Absorptionsbandkante. Steigert man die Röhrenspannung V, so setzt bei Überschreiten der der Absorptionsbandkante λ_A entsprechenden Spannung V_A die Emission aller Spektrallinien der K-Serie gleichzeitig ein, und je mehr man die Spannung steigert, desto größer wird die Intensität derselben. Kettmann hat die Abhängigkeit ihrer Intensität J von der Spannung V untersucht. Er fand

$$J = \text{Konst.} \cdot (V^2 - V_A{}^2). \qquad (79)$$

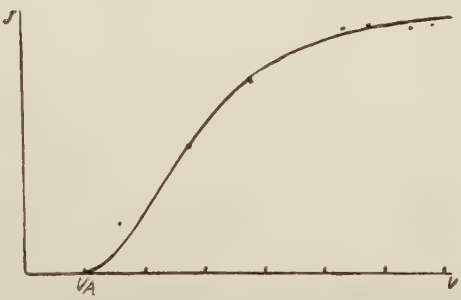


Abb. 42. Abhängigkeit der Intensität der Chrom-K_α-Linie von der Röhrenspannung nach Kettmann.

Indessen nimmt diese Erhöhung der Intensität nicht unbegrenzt mit der Steigerung der Spannung über die Mindestspannung zu: vielmehr erreicht die Intensität der charakteristischen Strahlung bei einem Mehrfachen der Mindestspannung einen Grenzwert. Die Ursache ist darin zu suchen, daß die Elektronen, die um so schneller auf die Antikathode auftreffen, je höher die Röhrenspannung ist, auch um so tiefer in die Antikathode eindringen. Der Entstehungsherd rückt daher mit der Steigerung der Spannung immer tiefer unter die Antikathodenoberfläche und die Absorption der charakteristischen Strahlung in der Antikathode nimmt zu. Abb. 42 zeigt eine Messung von Kettmann für die K_α-Linie des Chrom.

Nach Tabelle 17 mißt die Absorptionsbandkante von Wolfram 0,178 Å, die für Platin 0,158 Å. Nach Gleichung (78) sind die entsprechenden Anregungsspannungen für die K-Serie 69 bzw. 78 kV. Die höchsten heute in der Therapie gebräuchlichen Spannungen betragen etwa 200 kV. Bei diesen wird die Intensität der charakteristischen Strahlung noch nicht ihren Grenzwert erreicht haben, so daß für heute in der Therapie erreichbare Spannungen die Intensität der charakteristischen Strahlung wenigstens angenähert nach Gleichung (79) zunehmen wird.

3. Charakteristische Strahlung und kontinuierliches Spektrum.

Außer dem Linienspektrum ist in Abb. 41 auch das kontinuierliche Röntgenspektrum, wenn auch retuschiert, so doch qualitativ anschaulich wiedergegeben. Wie unsere folgenden Betrachtungen zeigen werden, nimmt auch dessen Gesamtintensität mit der Röhrenspannung zu. Hiermit geht aber auch eine Steigerung seiner mittleren Härte Hand in Hand. Demgegenüber steigt beim Linienspektrum allein die Intensität, nicht aber die Härte mit der Spannung. Beide Komponenten, die charakteristische und die kontinuierliche, bestimmen die Intensität und Härte des Gesamtspektrums. Leider ist Quantitatives über das Zusammenwirken beider Komponenten noch nicht bekannt. Nur soviel kann gesagt werden, daß bei verschiedenen Antikathodenmetallen trotz gleicher Betriebsbedingungen die mittlere Härte etwas verschieden sein kann.

Nach den Aufnahmen von Webster und Clark (Abb. 17) hatte es den Anschein, als erfolge die Emission der charakteristischen Strahlung auf Kosten des kontinuierlichen Spektrums: bei demjenigen Bereich desselben, der kurzwelliger ist als die K-Absorptionsbandkante, erscheint die Intensität im Vergleich zum langwelligeren Gebiet reduziert. Indessen konnten Wagner und Kulenkampff zeigen, daß diese Erscheinung nur dadurch vorgetäuscht wird, daß in Beobachtungsrichtung nahezu parallel zur Antikathodenoberfläche die bei Überschreiten der Absorptionsbandkante sprunghaft gesteigerte Absorption die harten Anteile des kontinuierlichen Spektrums stärker am Austritt hindert als die weicheren. Ein Einfluß charakteristischer Strahlung auf die Emission des kontinuierlichen Spektrums besteht daher nicht.

II. Das kontinuierliche Röntgenspektrum.

1. Die Methoden zur Aufnahme.

Zur Aufnahme eines kontinuierlichen Röntgenspektrums kommen zwei Methoden in Frage: entweder die photographische Aufnahme mit oder ohne Verstärkerschirm oder die Ionisationsmessung. Alle Spektren, die wir bisher besitzen, sind deshalb entweder photographische Spektren oder Ionisationsspektren. Keine von beiden Methoden vermag die Energie der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge zueinander in Beziehung zu setzen. Über die „Energieverteilung", d. h. über das Intensitätsverhältnis der einzelnen Wellenlängen des Spektrums zueinander, vermag daher weder die eine noch die andere Methode etwas auszusagen. Trotzdem begegnet man in der Literatur immer wieder Untersuchungen oder Angaben über die Energieverteilung des kontinuierlichen Röntgenspektrums, die sich auf die photographische Aufnahme oder Ionisationsmessung stützen. Manche Autoren haben sogar die gemessene Ionisation und nicht einmal die in der Ionisationskammer absorbierte Energie zu den energetischen Vorgängen beim Auftreffen der Kathodenstrahlelektronen auf die Antikathode in Beziehung gesetzt und aus diesen Vorgängen, deren ursächlicher Zusammenhang heute noch völlig ungeklärt ist, eine Theorie über die „Energieverteilung im kontinuierlichen Röntgenspektrum" gegründet, die notwendig jeder reellen Unterlage entbehrt.

Aus diesen Gründen werden wir im folgenden ausdrücklich nur vom kontinuierlichen „Ionisationsspektrum" oder vom kontinuierlichen „photographischen Spektrum" reden.

2. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei Gleichspannung.

In Abb. 43 sind eine Reihe Messungen von Ulrey dargestellt. Er untersuchte mit Hilfe eines Spektralapparates die Ionisation in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei

verschiedenen Gleichspannungen. Jeder Röhrenspannung entspricht eine ganz bestimmte Grenzwellenlänge oder ein ganz bestimmtes „kurzwelliges Ende" des kontinuierlichen Röntgenspektrums. Und zwar besteht zwischen der Grenzwellenlänge λ_0, gemessen in Å, und der Röhrenspannung V, gemessen in kV, wieder die Beziehung

$$\lambda_0 \cdot V = 12.3 . \qquad (80)$$

Diese Beziehung wurde für die Grenzwellenlänge der Röntgenstrahlen von Duane und Hunt nachgewiesen und wird deshalb vielfach als das Gesetz von Duane und Hunt bezeichnet. Wie wir im IV. Kapitel sahen, steht dasselbe in engem Zusammenhange mit dem Planckschen Wirkungsquantum und Einsteins Gesetz, und es wird deshalb vielfach auch die Planck-Einsteinsche Gleichung genannt.

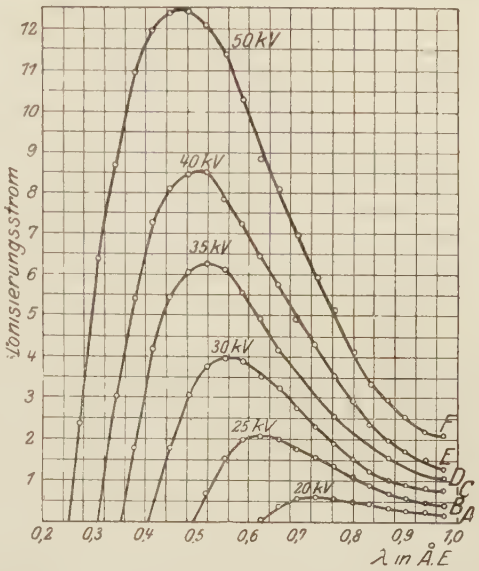


Abb. 43. Kontinuierliche Ionisationsspektra für verschiedene Werte von Gleichspannung nach Ulrey.

3. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei anderen Spannungsformen.

Behnken untersuchte die Grenzwellenlänge bei sinusförmiger Wechselspannung ebenfalls nach der Ionisationsmethode. Er fand, daß Gleichung (80) erfüllt ist, wenn man für V die Werte der Scheitelspannung einsetzt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß man bei Induktorbetrieb dementsprechend die Spitzenspannung zu wählen hat.

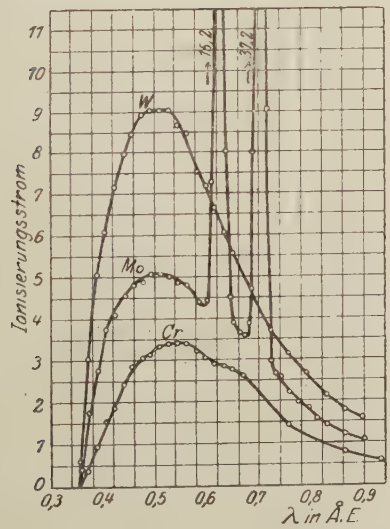


Abb. 44a.

Abb. 44b.

Abb. 44a und b. Ionisationsspektra verschiedener Antikathodenelemente bei derselben Gleichspannung nach Ulrey.

4. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums ist unabhängig vom Antikathodenelement.

Die Abb. 44a und 44b zeigen eine Anzahl von Ionisationsspektren Ulreys bei verschiedenen Antikathodenelementen, aber derselben Röhrenspannung. Diese ist demnach ohne Einfluß auf die Grenzwellenlänge.

5. Die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums ist unabhängig von der Röhrenart.

Während Ulrey ein Glühkathodenrohr benutzte, arbeitete Wagner mit einem gashaltigen Röntgenrohr. In beiden Fällen erwies sich das Gesetz von Duane und Hunt als erfüllt. Die Röhrenart ist also ohne Einfluß auf die Grenzwellenlänge.

6. Die Grenzwellenlänge ist unabhängig vom Winkel zwischen Richtung der Kathodenstrahlen und Richtung der Röntgenstrahlen (Azimut).

Wagner untersuchte mit Spektrometer und Ionisationskammer das von der Kupferantikathode A (Abb. 45) ausgehende kontinuierliche Röntgenspektrum bei etwa

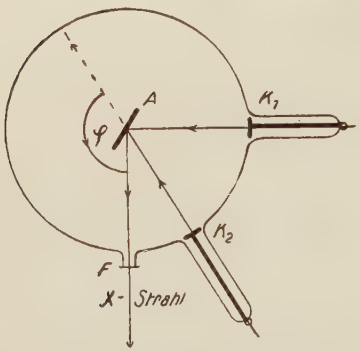


Abb. 45. Röntgenröhre für Azimutuntersuchung nach Wagner.

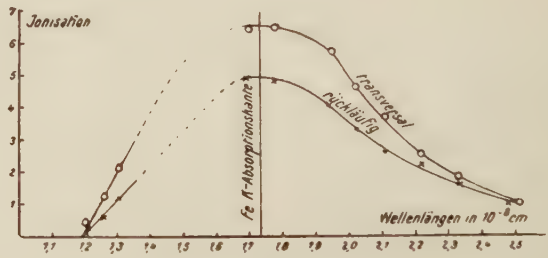


Abb. 46. Das kontinuierliche Ionisationsspektrum in Abhängigkeit vom Azimut nach Wagner.

10 kV, wenn die Kathodenstrahlen einmal von der Kathode K_1, einmal von der Kathode K_2 ausgingen. Er beobachtete also im ersten Falle rechtwinklig (transversal), im zweiten Falle stumpfwinklig (rückläufig) zur Kathodenstrahlrichtung. Seine in Abb. 46 dargestellten Ergebnisse zeigen in beiden Fällen dieselbe Grenzwellenlänge. Webster gelangte bei 38 und 67 kV und bei Winkeln von 55 und 145° zu demselben Ergebnis. Der Azimut ist demnach ohne Einfluß auf die Grenzwellenlänge.

7. Die Gesamtintensität des kontinuierlichen Röntgenspektrums in Abhängigkeit von der Spannung.

Die Betrachtung der Kurven von Ulrey (Abb. 40) lehrt, daß das kontinuierliche Ionisationsspektrum um so intensiver ist, je höher die Röhrenspannung ist. Sicher ist, daß die Gesamtintensität des Spektrums mit der Röhrenspannung wächst. Wären die Ulreyschen Kurven in Wirklichkeit Energiekurven, nicht aber Ionisationskurven, so würde ihr Flächeninhalt die Intensität des Gesamtspektrums darstellen. So aber ist es

vorläufig nicht möglich, aus ihnen eine quantitative Beziehung zwischen Intensität und Röhrenspannung abzuleiten.

Sehr sorgfältige Messungen des kontinuierlichen Röntgenspektrums sind von Kulenkampff mit Gleichspannung bis zu etwa 12 kV ausgeführt worden. Für diese niederen Spannungen und die dementsprechend weichen Strahlen gehorchte seine Ionisationskammer den Forderungen Holthusens. Kulenkampff hat alle Fehlerquellen ausgeschaltet und seine Ionisationsspektra auf die in der Kammer absorbierte Energie bezogen. Energiespektra sind sie deshalb freilich noch nicht. Nach seinen Ergebnissen würde bei Gleichspannung Proportionalität mit dem Quadrat der Spannung bestehen. Da bei so niedrigen Spannungen das Ergebnis kaum durch Ionisation von Rückstoßelektronen entstellt sein wird, so mag in der Tat bei Spannungen bis etwa 12 kV das quadratische Gesetz Gültigkeit besitzen. Für höhere Spannungen und demzufolge härtere Strahlen ist die Ionisationskammer aber sicher kein Energiemeßinstrument mehr. Hier muß die im VIII. Kapitel besprochene Thermosäule oder das Bolometer Verwendung finden. Mit Hilfe des letzteren fanden Ms. Carter zwischen 45 und 70 kV und neuerdings Bouwers zwischen 30 und 105 kV sehr angenähert Proportionalität zwischen der von der Antikathode emittierten Röntgenenergie und dem Quadrate der Röntgenspannung. Der auf die charakteristische Strahlung entfallende Anteil ist hierbei freilich nicht eliminiert. Ferner ist nicht genau anzugeben, welcher Bruchteil der Röntgenenergie sich in Form von Sekundärstrahlung und kinetischer Energie von Elektronen der Wärmemessung entzog. Schließlich werden durch die Absorption in der Glaswand unserer technischen Röntgenröhren die weichen Anteile des kontinuierlichen Röntgenspektrums stark absorbiert, und daher besteht in praxi eine Abweichung vom Proportionalitätsgesetz. Da genauere Untersuchungen indessen bis heute noch nicht vorliegen, so bietet das Gesetz der Proportionalität zwischen Röntgenenergie und Spannungsquadrat vorläufig den besten Anhalt für Überschlagsrechnungen.

Für gefilterte Strahlungen gilt das Proportionalitätsgesetz natürlich nicht.

Ionisationsmessungen liefern sicher keine einwandfreie Aussage über die Abhängigkeit der Röntgenenergie von der Röhrenspannung.

8. Die Härte des kontinuierlichen Röntgenspektrums in Abhängigkeit von der Spannung.

Da die Kurven von Ulrey Ionisationskurven und keine Energiekurven sind, so läßt sich Quantitatives über die Härteverteilung im kontinuierlichen Spektrum nicht aussagen. Insbesondere entbehren die wiederholten Erörterungen über die absolute Lage des Kurvenmaximums jeder Grundlage.

Demgegenüber ist die qualitative Folgerung zulässig, daß die mittlere Härte des kontinuierlichen Spektrums mit der Spannung steigt. Dies ergibt sich aus folgendem:

a) sichergestellt ist, daß mit wachsender Spannung die Grenzwellenlänge abnimmt; mit jeder Spannungssteigerung ist also ein Auftreten neuer, härterer Komponenten verknüpft;

b) mit zunehmender Spannung verschiebt sich das Maximum in Richtung kürzerer Wellenlängen, und es ist anzunehmen, daß auch beim Übergang von Ionisationskurven zu Energiekurven die Verschiebung in diesem Sinne erhalten bleibt;

c) bei der Absorptionsanalyse, z. B. durch Bestimmung der Halbwertschicht in Kupfer (XVIII. Kapitel), erweist sich die mittlere Härte der von der Antikathode ausgehenden Strahlung um so größer, je höher die Spannung ist.

9. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit von der Spannungsform.

Es sei unter sonst gleichen Versuchsbedingungen in verschiedenen Fällen der Wert der Gleichspannung, der Scheitelspannung und der Spitzenspannung, also auch die Grenzwellenlänge die gleiche. Dann lehrt eine einfache Überlegung:

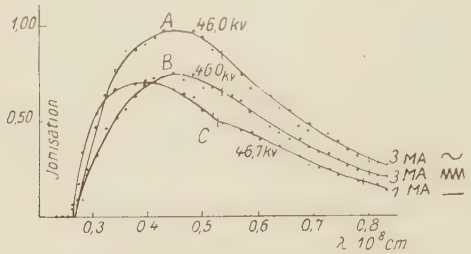


Abb. 47.

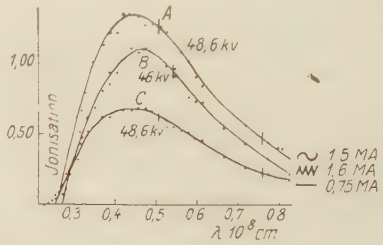


Abb. 48.

Abb. 47 und 48. Das kontinuierliche Ionisationsspektrum am Glühkathodenrohr und gashaltigen Rohr. A bei Sinusspannung, B bei Induktorbetrieb und C bei Gleichspannung nach Dauvillier.

a) Deckt sich der Verlauf von zwei Ionisationsspektren, so muß sich auch der der zugehörigen Energiespektren decken;

b) Liegt das Maximum einer Ionisationskurve bei kürzeren Wellenlängen als das einer anderen, so wird auch das Maximum der ersten Energiekurve bei kürzeren Wellenlängen liegen als das der zweiten.

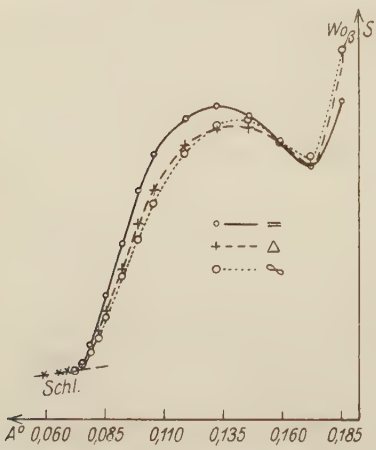


Abb. 49. Ausphotometriertes, photographisches Röntgenspektrum einer Glühkathodenröhre bei ½ mm Kupferfilterung und Betrieb mit Induktor, Wechsel- und Gleichspannung nach Glocker.

Hierauf gründen sich unsere nachstehenden Folgerungen.

Den Einfluß der Spannungsform untersuchte Dauvillier bei sinusförmiger Wechselspannung, bei Gleichspannung und bei Induktorbetrieb am Glühkathodenrohr (Abb. 47) und am gashaltigen Rohr (Abb. 48) nach der Ionisationsmethode bei etwa 50 kV.

Bei diesen Messungen ist die Höhe des Maximums hier nicht von Interesse: sie entspricht nur dem Milliamperestrom und läßt sich bei geeigneter Regulierung desselben gleichmachen. Uns kommt es hier vielmehr nur auf die relative Kurvenform an. Die Aufnahmen lehren: bei Betrieb mit Induktor und mit sinusförmiger Wechselspannung ist die Intensität des kontinuierlichen Röntgenspektrums angenähert gleich. Bei Gleichspannung ist demgegenüber das Strahlengemisch, entsprechend dem nach der kurzwelligen Seite verschobenen Maximum, reicher an harten Komponenten. Und zwar gilt dies in gleicher Weise für das Glühkathodenrohr wie für das gashaltige Rohr.

Glocker untersuchte ebenfalls mit Glühkathodenröhre, aber mit ½-mm-Kupferfilter bei 167 kV die Abhängigkeit von der Spannungsform. Er photographierte das Spektrum mit dem Seemann-Apparat. Die Photometrierungen zeigt Abb. 49. Das sehr angenäherte Zusammenfallen der Kurven beim Betrieb mit Induktor und sinusförmiger Wechselspannung und die Verschiebung des Maximums in Richtung kurzer Wellenlängen

bei Gleichspannung lehrt, daß die Ergebnisse von Dauvillier auch bei hohen Spannungen und Filterung Gültigkeit besitzen.

Tabelle 44. Bei 167000 Volt, 3 mA, ½ mm Cu-Filter iontometrisch gemessene Tiefenintensitäten in Prozenten der Oberflächenintensitäten.

	G	J	W
1,0 mm Messing	45,70	42,80	43,00
2½ mm „	25,00	21,70	22,00
3½ mm „	16,40	14,00	14,00
5,0 mm „	11,00	9,35	9,10
7½ mm „	4,85	4,05	3,96

Daß in der Tat die Strahlung bei Gleichspannung härter ist als bei Wechselspannung und bei Induktorbetrieb, konnte Glocker durch Absorptionsmessung der direkten, nicht spektral zerlegten Strahlung von 167 kV und ½ mm Kupfer bestätigen (Tabelle 44). Die größte Härte besitzt die mit Gleichspannung (G) erzeugte Reststrahlung: nach 7½ mm Messing mißt sie noch 4,85 % der einfallenden Intensität gegenüber rund 4 % bei Induktor — (I), Gleichstrom — (G) und Wechselstrombetrieb (W). Der Erfahrungssatz, daß bei gleicher Grenzwellenlänge die Strahlung unabhängig von der Form der Spannungskurve praktisch gleich sei, verliert seine Gültigkeit.

Auch die Strahlenausbeute erwies sich nach Glocker bei Ionisationsmessung direkter, nicht spektral zerlegter Strahlung für Gleichspannung viel günstiger, und zwar nahezu 1,5 mal so groß wie bei Induktorbetrieb bzw. 1,6 mal so groß wie bei Wechselstrombetrieb.

10. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit von der Röhrenart.

Glocker photographierte bei genau gleicher Spitzenspannung eines Induktors von 160 kV bei ½ mm Zinkfilterung die Strahlung einer Glühkathodenröhre und eines gashaltigen Rohres mit dem Seemann-Apparat. Die ausgezeichnete Übereinstimmung beider Photometerkurven (Abb. 50) beweist die völlige Gleichwertigkeit der Strahlenqualität beider Röhrengattungen bei Induktorbetrieb.

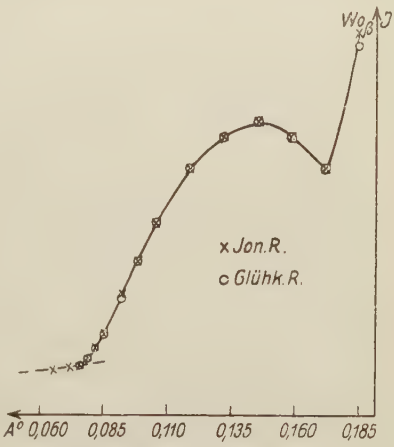


Abb. 50. Ausphotometriertes, photographisches Röntgenspektrum einer gashaltigen und einer Glühkathodenröhre bei 160 kV und ½ mm Zinkfilterung und Induktorbetrieb nach Glocker.

Eine andere Frage ist es freilich, ob bei derselben spektralen Verteilung und bei gleicher Milliamperezahl die Gesamtausbeute an Strahlung von der Röhrenart abhängt. Nach Messungen von Dauvillier kommt dem gashaltigen Rohre bei 52 kV etwa doppelt so große ioniserende Wirkung zu als dem Glühkathodenrohr bei der nur 6 kV niedrigeren Spannung von 46 kV. Und auch Fritz fand, daß bei gleicher Röhrenstromstärke und Grenzwellenlänge das Strahlengemisch einer Lilienfeld-Röhre am Transformator etwa zweimal, am Induktor mehr als dreimal solange Belichtungszeit erfordert als ein gashaltiges Rohr bei Transformator- oder Induktorbetrieb, um dieselbe photographische Schwärzung hervorzurufen. Dieser Befund ist deshalb um so erstaunlicher, weil beim Glühkathodenrohr allein Elektronen, beim gashaltigen Rohre außerdem aber die an der Röntgenstrahlerzeugung nicht mitbeteiligten Gasionen den Stromtransport besorgen. Er steht aber im Einklang mit der Erfahrung, daß das gashaltige Rohr bei diagnostischen Aufnahmen kürzere Expositionszeit fordert als das Glühkathodenrohr.

11. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit vom Antikathodenelement.

Wagner und Kulenkampff haben die Intensität des kontinuierlichen Spektrums auch in Abhängigkeit vom Antikathodenmaterial geprüft. Sie fanden, daß Proportionalität zwischen der Intensität des kontinuierlichen Spektrums und der Stellenzahl desjenigen Elements im periodischen System besteht, das als Antikathode dient. An der Gültigkeit dieses Gesetzes ist nicht zu zweifeln; denn hier wurden verschiedene Antikathodenmaterialien bei gleicher Röhrenspannung, also auch bei derselben „Energieverteilung" untersucht.

Da Tantal, Wolfram und Platin die Stellenzahlen 73, 74 und 78 haben, so werden sich, bei gleicher Spannung, die Intensitäten des kontinuierlichen Röntgenspektrums bei diesen Antikathodenmetallen wie 73:74:78 oder wie 93,5:95:100 verhalten. Zum Teil wird dieser Effekt aber durch die Emission charakteristischer Strahlung kompensiert, deren Intensität mit der Spannung steigt (vgl. I, 2).

12. Das kontinuierliche Röntgenspektrum in Abhängigkeit vom Azimut.

Ein Vergleich der bei transversaler und rückläufiger Röntgenstrahlung aufgenommenen Ionisationsspektren Wagners (Abb. 46) lehrt:

a) Die Intensitäten unterscheiden sich im langwelligen Gebiet relativ wenig; der Unterschied nimmt aber bis zur gemeinsamen Grenzwellenlänge hin zu und dort verhalten sich die Intensitäten wie 1:1,7. Die rückläufige Gesamtstrahlung ist somit im Mittel weicher;

b) die rückläufige Strahlung ist bei allen Wellenlängen und daher auch in ihrer Gesamtintensität schwächer als die transversale.

Bei Wegfiltern der weichen Strahlenanteile ergab die direkte Ionisationsmessung zwischen der transversalen und rückläufigen Strahlung das Intensitätsverhältnis 1,6:1.

Ob dasselbe Verhältnis auch bei höheren Spannungen besteht, ist noch nicht untersucht worden.

Die im allgemeinen verwandten Tubusse unserer Röhrenstative lassen nur einen kleineren Winkelbereich als den von Wagner untersuchten offen, so daß aus diesem Grunde auch bei starker Filterung kein so großer Intensitätsunterschied für die verschiedenen Strahlrichtungen bei demselben Rohre zu erwarten ist. Nicht unmöglich wären indessen ähnliche Unterschiede zwischen Röhren verschiedener Kathodenstrahlrichtung.

Wir kommen nun noch zu einigen Punkten, die lange Zeit umstritten waren, heute aber geklärt sind.

13. Die Unabhängigkeit der Grenzwellenlänge und mittleren Härte des kontinuierlichen Röntgenspektrums von der Röhrenstromstärke und der „Brennfleckbelastung".

Nach Lilienfeld soll sich die mittlere Härte der Strahlung mit dem Röhrenstrom und mit der Stromdichte im Brennfleck („spezifische Belastung des Brennfleckes") ändern.

Demgegenüber fand Behnken bei Präzisionsmessungen mit Spektralapparat und Ionisationskammer:

a) Bei Änderung des Röhrenstromes von 1—5 mA. ändert sich die Grenzwellenlänge nicht:

b) bei Änderung des Röhrenstromes von 1—6 mA. ist die Ionisation durch die einzelnen Wellenlängen des Spektrums genau proportional der Stromstärke; also ist auch die Energieverteilung unabhängig vom Röhrenstrom und die Gesamtenergie diesem proportional;

c) Lochkameraaufnahmen des Brennfleckes zeigen zwischen 1 und 6 mA. keinerlei Veränderungen desselben. In all seinen Punkten nimmt also die Belastung proportional der Stromstärke zu. Sie hat keine Härteänderung zur Folge.

14. Die Unabhängigkeit der Grenzwellenlänge von der Frequenz der Wechselspannung.

Nach Lilienfeld soll die Grenzwellenlänge mit der Frequenz abnehmen, d. h. das Gesetz von Duane und Hunt soll keine Gültigkeit besitzen.

Demgegenüber hat Karolus durch direkte Spannungsmessung gezeigt, daß Lilienfeld von unrichtigen Annahmen über die Höhe der Spannung ausging. Karolus wies bei konstant gehaltener Spannung die Unabhängigkeit der Grenzwellenlänge von der Frequenz im Bereiche von 50—500 Perioden nach.

15. Der Einfluß von Filtern auf den Verlauf des kontinuierlichen Röntgenspektrums.

Der Verfasser hat den Einfluß von Kohle-, Aluminium- und Kupferfiltern auf den Verlauf des Ionisationsspektrums rechnerisch untersucht. Aus einer Formel Behnkens,

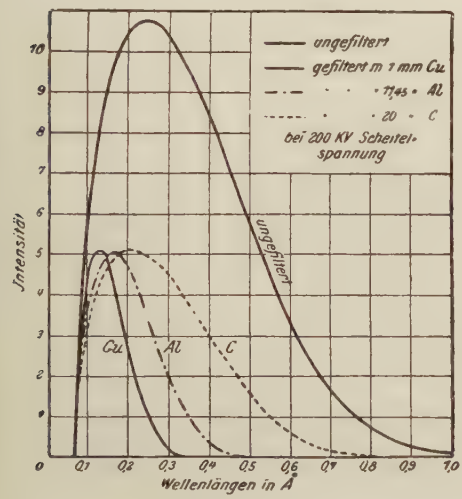


Abb. 51.

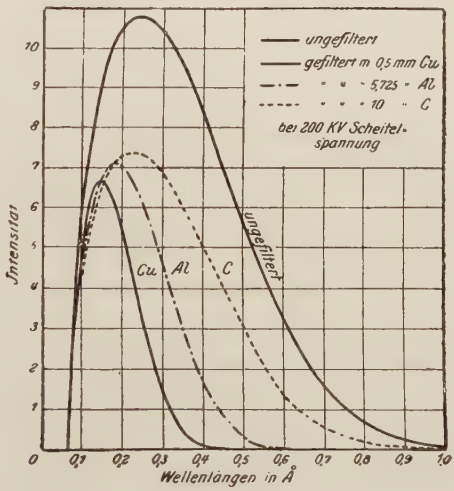


Abb. 52.

Abb. 51 und 52. Kontinuierliche Ionisationsspektra bei 200 kV, ungefiltert und für verschiedene Filterungen nach einer Formel Behnkens berechnet von Küstner.

die den Verlauf des Ionisationsspektrums erfahrungsgemäß gut wiedergibt, berechnete er den der ungefilterten Strahlung bei 200 kV. Mit Hilfe der in Tabelle 6 aufgeführten Formeln für die Schwächung läßt sich alsdann der Verlauf des Ionisationsspektrums bei verschiedener Filterdicke ermitteln. Die in Abb. 51 und 52 dargestellten Ergebnisse lehren, daß das Strahlengemisch um so homogener ist, je höher die Stellenzahl des Filters ist. Freilich gewinnt man nichts mehr, wenn man statt Kupfer ein Element höheren

Atomgewichts als Filter verwendet; man erreicht dann vielmehr allein, daß die Absorptionsbandkante des Filters sich störend im Wellenlängenbereich des Reststrahlengemisches bemerkbar macht. Später vom Verfasser mit dem Seemann-Spektrographen aufgenommene und mit dem registrierenden Photometer ausphotometrierte photographische Spektren haben, soweit ein Vergleich zwischen photographischer und Ionisationsmethode überhaupt möglich ist, die Richtigkeit der obigen Rechnung vollauf bestätigt.

16. Der Einfluß der Beschaffenheit der Antikathode auf die von ihr ausgehende Strahlung.

Neu gelieferte Röntgenröhren zeigen vielfach schon einen von der Fabrikation herrührenden geringen Anstich der Antikathode. Dieser kann während des Betriebes stark zunehmen, und bisweilen sieht man Röntgenröhren, die im Brennfleck schachtartige Vertiefungen aufweisen. Da im allgemeinen diejenige Röntgenstrahlung ausgenutzt wird, welche sich senkrecht zur Kathodenstrahlrichtung und etwa unter 45^0 zur Oberfläche der Antikathode ausbreitet, so kann ein solcher Anstich einen nennenswerten Verlust der Strahlenausbeute bedingen. Dieser Verlust kommt vornehmlich auf Rechnung jener härtesten Komponenten, welche kurzwelliger sind als die charakteristische Linienstrahlung der Antikathode, da ja die Absorption an der Bandkante der Serie sprunghaft wächst. Wie diese härtesten Komponenten durch die Absorption vorzugsweise unterdrückt werden, zeigt beispielsweise das in Abb. 17 wiedergegebene Spektrum von Webster und Clark. Bei diesen genügte schon der Umstand, daß die Röntgenstrahlung die guterhaltene Antikathode verhältnismäßig tangential verließ, zum Zustandekommen dieser Erscheinung. Der Anstich einer Antikathode im Brennfleck wirkt sich in entsprechender Weise aus. Man hüte sich deshalb anzunehmen, daß die Strahlenausbeute einer Glühkathodenröhre unverändert dieselbe bleiben müsse und unterziehe dieselbe von Zeit zu Zeit einer Prüfung auf Intensität und Härte.

17. Zusammenfassung der Ergebnisse.

a) Die Intensität der charakteristischen Strahlung der Antikathode folgt nahezu dem Gesetz

$$J = \text{konst.}\,(V^2 - V_A^2);$$

b) ihre Emission ist ohne Einfluß auf den Verlauf des kontinuierlichen Spektrums;

c) die Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums gehorcht dem Gesetze von Duane und Hunt

$$\lambda_0 V = 12{,}3\,.$$

Bei Wechselspannung ist V die Scheitelspannung, bei Induktorbetrieb die Spitzenspannung.

d) Die Grenzwellenlänge ist unabhängig vom Antikathodenmetall;

e) „ „ „ „ von der Röhrenart (Glühkathoden- oder Ionenrohr);

f) „ „ „ „ unabhängig vom Azimut;

g) „ „ „ „ vom Röhrenstrom;

h) „ „ „ „ von der Brennfleckbelastung;

i) „ „ „ „ von der Frequenz der Wechselspannung;

k) die Gesamtintensität des kontinuierlichen Röntgenspektrums wächst vermutlich angenähert proportional dem Quadrate der Röhrenspannung;

l) bei gleicher Spannung und gleichem Röhrenstrom liefert das gashaltige Rohr anscheinend intensivere Strahlung als das Glühkathodenrohr;

m) die mittlere Härte nimmt mit der Spannung zu;

n) die mittlere Härte ist bei gleicher Grenzwellenlänge dieselbe bei Sinusspannung und bei Induktorbetrieb;

o) die mittlere Härte ist bei gleicher Grenzwellenlänge bei Gleichspannung größer als bei Sinusspannung oder Induktorbetrieb;

p) es gelten n) und o) sowohl für Glühkathoden- wie für gashaltige Röhren;

q) für Glühkathodenrohr und für gashaltiges Rohr verläuft das kontinuierliche Röntgenspektrum bei Induktorbetrieb genau gleich;

r) das kontinuierliche Röntgenspektrum ist bei rückläufiger Strahlung schwächer;

s) das kontinuierliche Röntgenspektrum ist bei rückläufiger Strahlung im Mittel weicher;

t) der Verlauf des Ionisationsspektrums bei Filterung läßt sich qualitativ berechnen; die Homogenität des Strahlengemisches steigt mit der Stellenzahl und Dicke des Filters; photographische Spektra bestätigen dieses Gesetz;

u) durch Anstich der Antikathode kann sowohl die Härte als die Intensität einer Röntgenröhre unter sonst gleichen Betriebsbedingungen herabgesetzt werden; beide müssen daher dauernder Kontrolle unterzogen werden.

Elftes Kapitel.

Die Reproduzierbarkeit der Röntgenstrahlung bei gleicher Einstellung der Maschine.

Die Frage, inwieweit sich durch Einspielenlassen des primären Kilovoltmeters, das an den Primärklemmen des Transformators oder Induktors liegt, und des Milliamperemeters im Röhrenstromkreise auf dieselben Skalenteile, eine reproduzierbare Strahlung erhalten läßt, ist aus zweifachem Grunde von besonderem Interesse. Einerseits wird die Genauigkeit einer Meßreihe unter unkontrollierbaren Schwankungen der Röntgenstrahlenqualität leiden. Anderseits verfügen die wenigsten über ein Dosimeter, das die Konstanz der Röntgenstrahlung während der Bestrahlung zu kontrollieren gestattet, und müssen sich daher darauf verlassen können, daß bei gleicher Einregulierung der Maschine die Strahlung nach Intensität und Härte unverändert erhalten bleibt. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so nützt auch die sorgfältigste Dosismessung vor Beginn der Bestrahlung nichts. Die angeschnittene Frage ist deshalb von derselben Wichtigkeit wie die Genauigkeit einer Dosismessung überhaupt. Der Verfasser untersuchte deshalb den Einfluß

der Netzspannung,
des Ein- und Zweiröhrenbetriebes,
der Gleichrichtervorrichtung und
des Dauerbetriebes.

Die Messungen fanden am Intensivreformapparat der Veifawerke, also an einem Umformerapparat statt. Die Ergebnisse werden sich, zum mindesten quantitativ, nicht ohne weiteres auf andere Apparatetypen übertragen lassen, auch ist vielleicht der eine oder der andere Einfluß bei anderen Apparaten nicht vorhanden. Uns kommt es hier nur darauf an zu zeigen, daß solche Einflüsse überhaupt vorhanden sein können. Im Einzelfalle ist stets nachzuprüfen, ob sie auftreten und wieweit sie zu berücksichtigen sind.

1. Der Einfluß der Netzspannung.

Durch Vorschalten eines Regulierwiderstandes vor die Maschine konnte die Netzspannung künstlich verändert werden, wie sich durch ein Voltmeter nachweisen ließ, das an den Klemmen der Maschine lag. Wurde bei verschiedenen Netzspannungen zwischen 190 und 215 Volt primäres Kilovoltmeter und sekundäres Milliamperemeter auf demselben Skalenteil gehalten, so zeigten sich bei etwa 180 kV für ungefilterte Strahlung 10%, für 1 mm Kupferfilterung 50% Ionisationsunterschiede oder Dosisfehler!

Diese Ergebnisse lehren, daß sich die Intensität der Röntgenstrahlen bei Einspielen der Meßinstrumente nur dann reproduzieren läßt, wenn die Netzspannung unverändert dieselbe ist. Um dies zu erreichen, kann man sich beispielsweise des Schnell- und Eilreglers der Siemens-Schuckert-Werke bedienen, welcher automatisch für konstante Netzspannung sorgt. Wer nicht über die Mittel zu seiner Beschaffung verfügt, erreicht dasselbe, wenn er, wie der Verfasser, einen Regulierwiderstand vor die Maschine legt und die Spannung mit seiner Hilfe auf einen Wert einreguliert, unter den die Netzspannung nicht zu sinken pflegt, z. B. auf 205 statt 220 Volt. Der hierdurch entstehende Energieverlust von etwa 7% wird gern in Kauf genommen werden für die Gewißheit, daß hierdurch eine drohende Verbrennungsgefahr beseitigt ist. Die Verwendung des Regulierwiderstandes beim Therapiebetriebe hat sich bereits außerordentlich bewährt. Die Regulierung der Maschine hat sich durch Zufügen dieser weiteren Reguliervorrichtung nicht etwa, wie man denken könnte, kompliziert, sondern im Gegenteil vereinfacht. Sobald nämlich die Maschine eingelaufen ist, hat man es nicht mehr nötig, wie bisher Spannung und Heizstrom einzeln zu regulieren, man kann vielmehr beide unreguliert lassen und sich auf Regulierung des Widerstandes auf den erforderlichen Wert, z. B. 205 Volt, beschränken. Tut man dies, so spielen primäres Kilovoltmeter und sekundäres Milliamperemeter von selbst immer auf dieselben Zahlenwerte ein.

Ebenso gelang es Friedrich und Körner, durch Vorschalten eines Regulierwiderstandes vor einen Induktorapparat mit Gasunterbrecher (Sanitasapparat) und Konstanthalten der Spannung auf diesem Wege, die Intensität der Strahlen völlig konstant zu halten.

2. Der Einfluß des Ein- und Zweiröhrenbetriebes.

Wurden Netzspannung, Kilovoltzahl am primären Spannungsmesser und sekundäre Milliamperezahl konstant gehalten und die Ionisation einmal bei Einröhrenbetrieb, einmal bei Zweiröhrenbetrieb gemessen, so zeigten sich für 1 mm Kupferfilterung Ionisationsunterschiede von 20%. Wie eine Spektralaufnahme bestätigte, ist die Ursache im Sinken der Hochspannung bei erhöhter Belastung der Maschine zu suchen.

Man wird hieraus die Lehre ziehen: bei Eichung einer Maschine hat man außer der Netzspannung auch die Belastungseinflüsse zu berücksichtigen, die bei verschiedener Milliamperezahl und bei Ein- und Zweiröhrenbetrieb verschieden sein können; d. h. man hat die Maschine für verschiedene Milliamperezahlen sowie für Ein- und Zweiröhrenbetrieb besonders zu eichen.

3. Der Einfluß der Gleichrichtervorrichtung.

Bei rotierenden Funkenstrecken kann je nach deren Konstruktion ein mehr oder minder großer Spannungsverlust in der Funkenstrecke selbst auftreten. Die Spitzen rotierender Schwerter brennen allmählich ab, wodurch der Spannungsverlust sehr be-

trächtlich werden kann. Glühkathodenventilröhren bedingen im allgemeinen nur einen Spannungsverlust von einigen hundert Volt, den man vernachlässigen darf.

Überwachung der Maschine durch Eichungen von Zeit zu Zeit bieten hier einen Schutz gegen Dosierungsfehler, welche beträchtliche Werte annehmen können.

4. Der Einfluß des Dauerbetriebes.

Trotz Konstanthalten aller obengenannter Faktoren zeigten Versuche des Verfassers während sechsstündigen Betriebes ein allmähliches, systematisches Sinken der Ionisation um etwa 10%.

Eine Prüfung der Maschine bei Dauerbetrieb wird lehren, inwieweit man bei dieser mit einem Nachlassen der Intensität zu rechnen hat. Ist dies der Fall, so muß bei langzeitigen Bestrahlungen unbedingt von Zeit zu Zeit eine Kontrolle der Intensität vorgenommen werden.

5. Der Einfluß der Antikathodenbeschaffenheit.

Dieser wurde bereits im letzten Kapitel unter 16 behandelt.

Zwölftes Kapitel.

Die physikalischen Grundlagen der Messung der gebildeten Träger.

Bei einer punktförmigen Lichtquelle ist die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes von jener; das gilt auch für eine nicht genau punktförmige Lichtquelle wie den Brennfleck unserer Röntgenröhren, solange der Abstand des Punktes, in dem wir die Intensität betrachten, vom Brennfleck groß ist im Vergleich zu dessen Durchmesser. Bei weichen Röntgenstrahlungen zeigt sich hier allerdings ein Einfluß der Luftabsorption; dieser läßt sich aber rechnerisch ausschalten, wie die im VII. Kapitel besprochenen Versuche von Behnken lehren.

Wegen dieser Abnahme der Intensität mit der Entfernung vom Brennfleck muß man also Vergleichsmessungen entweder in allen Fällen im gleichen Abstande von jenem vornehmen, oder man muß einen Abstand als Einheit wählen, auf welchen man die bei anderen Abständen gemessene Intensität reduziert.

Es möge im folgenden die Intensität der Röntgenstrahlen in 1 m Brennfleckabstand mit J_0 bezeichnet werden. Dann beträgt die Intensität J in a Meter Brennfleckabstand

$$J = \frac{J_0}{a^2}. \tag{80}$$

Wir wollen nun näher untersuchen, in welcher Beziehung die Aufladung eines Elektrometers infolge von Ionisation durch Röntgenstrahlen zu deren Intensität steht. Wir nehmen dabei an, daß die Ionisation der Intensität der Röntgenstrahlen desselben Härtegemisches proportional ist, wozu wir auf Grund der im VIII. Kapitel angeführten Messungen Angerers durchaus berechtigt sind.

Ein Röntgenstrahlengemisch von bestimmter Zusammensetzung habe in a Meter Brennfleckabstand die Intensität 1. Ein Loch von 1 qcm Querschnitt befinde sich ebenfalls in a Meter Abstand vom Brennfleck. Ein Röntgenstrahlbündel falle durch dieses Loch in eine Ionisationskammer, durchsetze diese und erzeuge innerhalb derselben pro Sekunde N Träger eines Vorzeichens und der Einheitsladung ε. Dann ist die pro Se-

kunde in der Kammer entstehende Ladung desselben Vorzeichens $N\varepsilon$. Fällt das Bündel der Intensität 1 durch ein Loch von q qcm in die Kammer, so ist die pro Sekunde darin erzeugte gleichnamige Ladung $q\,N\varepsilon$ und die in t Sekunden erzeugte beträgt $q\,N\varepsilon\,t$. Hat dasselbe Röntgenstrahlbündel nicht die Intensität 1, sondern die Intensität J, so ist wegen der Proportionalität zwischen Intensität und Ionisation die während t Sekunden in der Kammer erzeugte gleichnamige Ladung $J\,q\,N\varepsilon\,t$. Zwischen dieser in a Meter Brennfleckabstand herrschenden Intensität J, zwischen der Intensität J_0 in 1 Meter Brennfleckabstand und zwischen der in t Sekunden erzeugten Ladung L desselben Vorzeichens besteht alsdann die Beziehung

$$L = J \cdot q \cdot N \cdot \varepsilon \cdot t = \frac{J_0}{a^2} \cdot q \cdot N \cdot \varepsilon \cdot t\,. \tag{81}$$

Besitzen die Ionisationskammer, das Elektrometer und ihre gemeinsame Verbindungsleitung die Kapazität C, so wird nach der bekannten Beziehung

$$L = C \cdot V \tag{82}$$

unter Voraussetzung der Sättigung der mit der Meßelektrode verbundene Elektrometerzeiger infolge der Ionisation auf die Spannung V aufgeladen und die Gleichung (81) geht über in

$$J_0 = a^2 \cdot \frac{V}{t} \cdot \left[\frac{C}{q \cdot N \cdot \varepsilon}\right]. \tag{83}$$

Die Ladung ε ist bekannt. Sie beträgt 4.774×10^{-10} elektrostatische Einheiten oder $1{,}591 \times 10^{-20}$ elektromagnetische Einheiten.

Die Zahl von N Trägern, die ein Strahlenbündel von 1 qcm Querschnitt und von der Intensität 1 pro Sekunde in einer bestimmten Kammer erzeugt, wird bestimmt durch deren Größe, Gestalt, Material, Gasfüllung und Gasdruck sowie durch die Temperatur. Bei der Berücksichtigung der beiden letzten Faktoren wird also N für ein bestimmtes Strahlengemisch eine ganz bestimmte Konstante der benutzten Ionisationskammer sein. Desgleichen bleiben die Kapazität C des Systems und der Lochquerschnitt q unverändert, solange keine Beschädigungen eintreten. Daher werden die in der eckigen Klammer von Gleichung (83) stehenden Größen für dasselbe Gerät und ein bestimmtes Strahlengemisch einen ganz bestimmten, konstanten Zahlenwert darstellen; für ein anderes Strahlengemisch werdeu sie, wegen der Änderung von N mit der Wellenlänge, einen anderen, aber wieder konstanten Wert besitzen. C, q und N sind deshalb nur von Zeit zu Zeit bei demselben Strahlengemisch darauf zu prüfen, ob sie durch äußere Einflüsse eine Änderung erfahren haben.

Demgegenüber wären a, t und V im Einzelfalle zu messen. Voraussetzung ist dabei, daß das Elektrometer als Spannungsmesser nach irgendeiner Spannungseinheit geeicht ist, damit man seine Angaben bei verschiedenen Ausschlägen zueinander in Beziehung setzen kann.

Die handelsüblichen Elektrometer sind im allgemeinen indessen nicht als Spannungsmesser geeicht, ihre Skalenteile sind vielmehr meist willkürlich angeordnet. Man hilft sich dann so, daß man immer zwischen denselben beiden Skalenteilen A und B beobachtet, denen immer ein und dieselbe Spannungsdifferenz s entspricht, vorausgesetzt natürlich, daß das Instrument unbeschädigt bleibt. Man beobachtet dann stets die Zeit t, die das Elektrometer braucht, um sich von A bis B, je nach seiner Konstruktion, aufzuladen oder zu entladen; s ist dann ebenfalls eine Apparatkonstante, und wir setzen es daher mit in die eckige Klammer:

$$J_0 = \frac{a^2}{t} \cdot \left[\frac{s \cdot C}{q \cdot N \cdot \varepsilon}\right] = \frac{a^2}{t} \cdot K\,. \tag{84}$$

Die Intensität J_0 eines bestimmten Strahlengemisches ist alsdann proportional dem Quadrat des Brennfleckabstandes und umgekehrt proportional der Ladungszeit zwischen A und B.

Bei der Fingerhutkammer kann man q weglassen, da sie stets ganz im Strahlenbündel steht, und wenn man wieder N als die gesamte pro Sekunde in ihr erzeugte Trägerzahl eines Vorzeichens definiert. Über Unterschiede der Ionisation bei Durchstrahlung in Längsrichtung und in Querrichtung s. XIV. und XIX. Kapitel.

Dreizehntes Kapitel.

Die Meßmethoden und ihre Genauigkeit.

I. Abstoppmethode.

Nach unseren Betrachtungen des letzten Kapitels reduziert sich die Intensitätsmessung auf die Bestimmung der Ladungszeit, die der Zeiger des Elektrometers braucht, um von einem Skalenteil A nach einen Skalenteil B zu laufen. Hierzu dient im allgemeinen die Stoppuhr.

1. Einflüsse des Gerätes.

Wintz und Rump haben auf eine Fehlerquelle bei Elektrometern hingewiesen, deren bewegliches System nicht trägheits- und reibungsfrei ist. Diese Fehlerquelle entsteht dadurch, daß das System erst kurze Zeit nach Beginn der Ionisation in merkliche Bewegung gerät. Der Zeiger folgt dann mit wachsender Geschwindigkeit, überschreitet die momentane Gleichgewichtslage, schwingt darüber hinaus usf. Daraus ergibt sich eine dem Ablauf überlagerte Schwingungsbewegung mit abklingender Amplitude. Der Ablauf des Zeigers erfolgt daher ungleichmäßig, bald langsamer, bald schneller. Bei längerer Ablaufzeit macht sich dies kaum bemerkbar. Ist diese aber von der Größenordnung der Eigenschwingung des Systems oder kleiner, so müssen größere Ungenauigkeiten entstehen. Der Zeiger soll nach Beginn der Röntgenstrahleneinwirkung, die plötzlich einsetzt, bereits in möglichst stetige, pendelungsfreie Bewegung übergegangen sein, ehe er Skalenteil A erreicht. Darum muß die Ruhelage des Zeigers vor Anfang der Messung hinreichend weit vom Skalenteil A liegen. Man versäume niemals, im Drange, schnell mit der Messung fertig zu werden, hierauf Rücksicht zu nehmen.

Die Eigenschwingungsdauer τ eines Gerätes bestimmt man, indem man seinen Zeiger anstößt und die Zeit T zwischen n Durchgängen durch denselben mittleren Skalenteil in derselben Richtung abstoppt. Dann ist $\tau = \frac{T}{n}$.

Bei kleinen Ablaufzeiten kommt hierzu der Einfluß der Dämpfung, die hauptsächlich durch den Widerstand der Luft hervorgerufen wird. Hierdurch werden die Werte der Intensität zu klein.

2. Psychologische Einflüsse.

Die Zeit zwischen dem Reiz und zwischen der Reaktion des Beobachters, in unserem Falle zwischen der Beobachtung des Zeigerdurchgangs durch einen Skalenteil und zwischen dem Drücken der Stoppuhr, ist im allgemeinen bei jedem Individuum verschieden.

Die Reaktionszeit hebt sich dann im Mittel aus der Beobachtung heraus, wenn beide Reize sowohl wie beide Reaktionen stets gleich sind. Die Reaktionen bestehen stets im Druck auf die Stoppuhr. Damit auch die Reize gleichartig seien, muß der Beobachter seine Beobachtungen bei Skalenteil A und B in gleicher Weise anstellen. Und zwar muß

er entweder erst den Skalenteil A mit dem Auge festhalten und den Zeigerdurchgang abstoppen und dann B festhalten und wieder den Zeigerdurchgang abstoppen. Das setzt aber reichlich Zeit zwischen beiden Vorgängen voraus, damit sich das Auge rechtzeitig auf B einstellen kann. Oder der Beobachter folgt dem Zeiger mit dem Auge und stoppt die zwei Durchgänge ab. Keinesfalls darf man bei A und B verschiedene Beobachtungsarten anwenden. Über die Bedeutung psychologischer Faktoren bei derartigen Beobachtungen ist in der Psychologie der Reaktionsversuche reiches Material gesammelt. Auf diese spezielleren Untersuchungen (motorische und sensorische Einstellung) näher einzugehen, würde hier zu weit führen.

Aus eben diesem Grunde ist es auch unzulässig, einmal den Bewegungsbeginn des Zeigers aus seiner Ruhelage, das andere Mal seinen Durchgang durch einen Skalenteil zu stoppen. Dies wäre auch aus dem oben aufgeführten, rein physikalischen Grunde fehlerhaft.

Die Genauigkeit der Beobachtung unterliegt auch subjektiven Einflüssen. Nach dem Übergange von einer anderen Tätigkeit sind die ersten Beobachtungen im allgemeinen weniger genau als spätere. Während der Beobachter zu Anfang mehr oder minder erregt ist, vermag er sich erst nach einiger Zeit auf seine Beobachtungstätigkeit zu konzentrieren. Es empfiehlt sich daher stets, die ersten 5 bis 10 Beobachtungen als Einübung aufzufassen und sie ein für allemal unberücksichtigt zu lassen. Demgegenüber tritt bei angestrengter Beobachtung, beim einen Beobachter früher, beim anderen später, Ermüdung und damit verbunden ein Sinken der Genauigkeit ein. Erholungspausen fordern bei manchen Beobachtern erneute Zeit zur Konzentration. Störungen sind unter allen Umständen fernzuhalten. Messungen, bei denen solche eintraten, sind zu streichen.

Durch Selbstkritik kann man das Ergebnis bei der Mittelwertbildung sehr verbessern, wenn man sich beim Anstoppen wie beim Abstoppen merkt, ob dies sehr früh, früh, gut, spät oder sehr spät (ff, f, g, s, ss) geschieht. Man hat an der Einzelmessung dementsprechende Korrekturen anzubringen.

Systematische Übung erhöht die Leistungsfähigkeit oft beträchtlich.

3. Die Reihenfolge der Beobachtungen.

Hat man der Reihe nach Zeitintervalle zunehmender Größe zu messen, wie z. B. bei der Bestimmung der Halbwertschicht eines Strahlengemisches, wozu man Filter zunehmender Dicke in den Weg der Röntgenstrahlen bringen muß, so ist es besser, bei jedem Einzelfilter eine Beobachtung zu machen und die ganze Reihe mehrmals, womöglich vor- und rückwärts, zu wiederholen, als bei jedem Filter mehrmals zu messen und die ganze Reihe nur einmal aufzunehmen. Besteht nämlich ein systematischer zeitlicher Gang, z. B. ein allmähliches Sinken der Intensität der Röntgenstrahlen, die für die Beobachtung als konstant angenommen werden muß, so zeigt sich das bei der ersten Methode, und bei der Mittelwertbildung entsprechender Beobachtungen hebt sich der Fehler heraus, während dies bei der zweiten Methode nicht der Fall ist.

Als Beispiel dafür, wie man die Reihenfolge der Beobachtungen zu wählen hat, diene eine Untersuchung von Friedrich und Körner. Diesen kam es darauf an, die Ionisation in verschiedenen Tiefen eines Wasserphantoms zu messen. Hierzu brachten sie in drei aufeinanderfolgenden Versuchsreihen die Fingerhutkammer nacheinander in folgende Tiefen:

Reihe	I:	in	0	10	2	8	4	6	5	cm Tiefe;
„	II:	„	0	2	4	5	6	8	10	„ „
„	III:	„	10	8	6	5	4	2	0	„ „

4. Die Mittelwertbildung.

Kann von Einzelbeobachtungen derselben Größe angenommen werden, daß ihnen derselbe Grad von Zuverlässigkeit zukommt, so stellt das arithmetische Mittel den wahrscheinlichsten Wert dar; deshalb darf man einzelne, besonders abweichende Werte nicht ohne besonderen Grund von der Mittelwertbildung ausschließen.

Tabelle 45. Ablaufzeiten bei konstanter Ionisationsquelle (Radium-γ-Strahlpräparat), beobachtet nach der Abstoppmethode.

Abgestoppte Sekunden	18,66	18,48
„ „	18,84	18,60
„ „	18,36	18,63
„ „	18,57	18,35
„ „	18,47	18,37
Mittelwerte	18,58	18,49
η	$\pm$ 0,18	$\pm$ 0,13
E	$\pm$ 0,082	$\pm$ 0,057
Reihe	I	II

Bezeichnet man mit:

n die Anzahl der Einzelbeobachtungen,

$\Delta_1, \Delta_2 \ldots \Delta_n$ ihre Abweichungen vom arithmetischen Mittel,

Σ die Summe der Fehlerquadrate, d. h. $\Sigma = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots \Delta_n^2$,

so ist der mittlere Fehler

der Einzelbeobachtung

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{\Sigma}{n-1}} \tag{85a}$$

des Mittelwertes

$$E = \pm \sqrt{\frac{\Sigma}{n(n-1)}} = \frac{\eta}{\sqrt{n}}. \tag{85b}$$

Die wahrscheinlichen Fehler betragen zwei Drittel hiervon.

Tabelle 45 zeigt zwei Beobachtungsreihen gleicher Ablaufzeiten, die durch die ionisierende Wirkung eines radioaktiven γ-Strahlenpräparates hervorgerufen und abgestoppt wurden.

II. Die Zweielektrometer-Methode.

Sie kann immer dann angewandt werden, wenn man unter Benutzung derselben Röntgenstrahlquelle entweder zwei Geräte oder zwei Intensitäten, wie z. B. die der gefilterten und der ungefilterten Strahlung, vergleichen will. Das Prinzip der Zweielektrometer-Methode ist das, daß man zwei von demselben Brennfleck ausgehenden Röntgenstrahlbündeln gleichzeitig und gleich lange Zutritt zu den Meßgeräten verschafft. Am einfachsten geschieht das durch Heben und Senken einer gemeinsamen Bleiklappe. Hierbei heben sich einerseits Betriebsschwankungen im wesentlichen heraus, anderseits ist dadurch, daß nach Einwirkung der Röntgenstrahlen die stehenden Zeiger abgelesen werden, die Genauigkeit der Ablesung sehr viel größer als beim Abstoppen der Durchgänge. Die unter I, 1 beschriebenen Einflüsse des Geräts kommen nicht in Frage.

Tabelle 46. Skalenteile und deren Verhältniszahlen, bestimmt nach der Zweielektrometer-Methode.

	Skalenteile			
Elektrometer I	60,5	59,7	60,1	60,2
„ II	38,2	38,0	38,1	38,3
II/I	0,632	0,636	0,634	0,636

Die Zweielektrometer-Methode ist der Abstoppmethode daher an Genauigkeit der Ergebnisse weit überlegen. Bei schwankenden Betriebsbedingungen ermöglicht sie vielfach überhaupt allein die Beobachtung.

Ist ein Dunkeleffekt (s. XIV. Kap.) vorhanden, so ist zu seiner Ausschaltung die Zeit zwischen den beiden Ablesungen des Geräts, nicht die Ablaufzeit maßgebend.

Da die Ablaufzeiten bei beiden Elektrometern gleich sind, die Belichtungsbedingungen bei dem einen von beiden aber von Fall zu Fall verschieden sind, so werden wenigstens bei einem von beiden Ausschläge verschiedener Größe auftreten. Es muß also mindestens ein Elektrometer über einen größeren Bereich seiner Skala als Spannungsmesser geeicht sein. Bequemer ist es freilich, wenn das bei beiden Elektrometern der Fall ist. Man ist dann nicht genötigt, die Bleiklappe gerade dann zu schließen, wenn der Zeiger des ungeeichten von seiner Ruhelage A bis zum Skalenteil B gelangt ist, was sich nur bei ziemlicher Übung erreichen läßt und was auch dann nicht bei jeder Einzelbeobachtung gelingt. Wir werden im nächsten Kapitel sehen, wie man ein Elektrometer als Spannungsmesser eichen kann.

In Tabelle 46 ist eine Meßreihe, bestehend aus 4 Paaren von Einzelablesungen, mitgeteilt. Die Verhältniszahlen unterscheiden sich nur um einige Promille vom Mittelwert.

Vierzehntes Kapitel.

Justierung und Fehlerquellen.

Weil eine mangelhafte Justierung in der Regel selbst eine Fehlerquelle darstellt, so ist es ratsam, Justierung und Fehlerquellen gemeinsam zu behandeln.

1. Justierung.

Die Justierung erfolgt im allgemeinen mit Hilfe eines Fluoreszenzschirmes. Marken, die man sich aus Drahtkreuzen, womöglich aus Bleidraht, herstellt, können die Justierung sehr erleichtern. Man muß dabei darauf bedacht sein, diese Justierungsmarken vor Beschädigungen zu schützen; am zweckmäßigsten bringt man sie zwischen Zelluloidfolien an. Ihre Verwendungsmöglichkeit ist von Fall zu Fall so verschieden, daß hierüber keine näheren Angaben gemacht werden können.

Abb. 53. Röntgenaufnahme der Fingerhutkammer des Siemens-Röntgen-Dosismessers.

a) Justierung der Fingerhutkammer.

Die Fingerhutkammer muß sich ganz im Strahlenbündel befinden. Ihr Schattenbild muß auf dem Fluoreszenzschirm beispielsweise das der Abb. 53 sein.

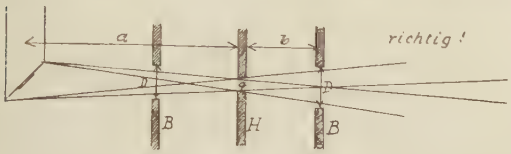
Bei Fingerhutkammern mit Schwefel als Isolator darf dieser nicht von Röntgenstrahlen getroffen werden (vgl. 3.).

Glocker, Rothacker und Schönleber beobachteten an einer kleinen Ionisationskammer der üblichen Form eine ausgesprochene Abhängigkeit von der Richtung der Röntgenstrahlen: bei Bestrahlung in axialer Richtung war die Ionisation 2—3mal so stark als in Richtung senkrecht dazu. Während Friedrich an seiner Fingerhutkammer und Holfelder, Bornhauser und Yaloussis an derjenigen des Siemens-Dosismessers keinen derartigen Richtungseffekt feststellen konnten, wurde nach einer Angabe Glockers seine Beobachtung von anderer Seite bestätigt. Da die Unabhängigkeit der Ionisation von der Bestrahlungsrichtung für die Messung der Tiefendosis im Wasserphantom von Bedeutung ist, so muß man sich bei der Anschaffung einer Fingerhutkammer davon überzeugen, ob sie diese Bedingung erfüllt.

b) Justierung der großen Kammer.

Die große Kammer wird nur von einem schmalen Strahlenbündel durchsetzt. Grundsätzlich erfolgt die Begrenzung desselben nur durch eine Blende. Ihr Abstand vom

Brennfleck ist der maßgebende Abstand a. Andere Blenden dienen nur dazu, um ungewollte Strahlungen fernzuhalten, deren Quelle nicht der Brennfleck ist, so z. B. die von der Glaswand des Röntgenrohres, von der Luft, von den Filtern oder von der Begrenzungsblende selbst ausgehenden Streustrahlen, sowie die Stielstrahlung. Diesen Hilfsblenden ist daher grundsätzlich ein Lochdurchmesser D zu geben, der größer ist als der Querschnitt desjenigen Strahlenbündels, welches, entsprechend den ausgezogenen Linien der Abb. 54, einerseits durch den Lochquerschnitt q der Hauptblende H im Brennfleckabstand a und anderseits durch die gesamte Antikathodenoberfläche begrenzt wird. Hier-



Ab. 54. Strahlengang bei richtiger Anordnung der Blenden.

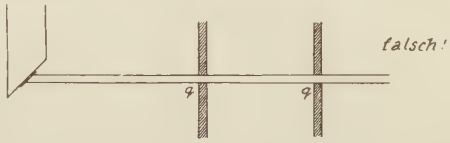


Abb. 55. Strahlengang bei falscher Anordnung der Blenden.

durch wird erreicht, daß auch bei Verschiebungen des Brennflecks über die ganze Antikathodenoberfläche das Primärstrahlbündel die Ränder der Löcher D niemals treffen und an ihnen Streustrahlung auslösen kann, die als Zusatzstrahlung die Ionisation in der Kammer in unerwünschter Weise erhöht. Eine Begrenzung des Primärstrahlbündels durch zwei enge Blenden vom Lochquerschnitt q, wie das in Abb. 55 dargestellt ist, wäre fehlerhaft. Denn bei dieser Anordnung gelangt nur ein kleiner Teil der vom Brennfleck ausgehenden Strahlung in die Kammer. Stellt man eine Lochblendenaufnahme des Brennflecks einer Glühkathodenröhre her, so zeigt dieser im allgemeinen eine Struktur, welche den Windungen der Glühspirale mehr oder minder ähnelt. Bei einer geringen Brennfleckverschiebung, die durch Änderung der Röhrenspannung oder durch Ausdehnung des Antikathodenstiels infolge seiner Erwärmung verursacht sein kann, muß daher bei zwei engen Blenden eine Strahlung in die Ionisationskammer gelangen, die von verschiedenen Stellen des Brennflecks ausgeht und somit von sehr verschiedener Intensität sein kann.

Abb. 56. Konische Blendenbohrung zur Unterdrückung der Blendenstreustrahlung.

Um die an den Lochrändern der Hauptblende H ausgelöste Sekundärstrahlung auf ein Minimum herabzudrücken, empfiehlt es sich, dem Loch q eine schwach konische Begrenzung zu geben (Abb. 56), deren enge Öffnung dem Brennfleck zugekehrt ist. Die zwischen der Hauptblende H und der Ionisationskammer angeordnete Hilfsblende B dient zur Unterdrückung der von H ausgehenden Sekundärstrahlung. Sie ist um so wirksamer, je größer ihr Abstand b von der Hauptblende im Vergleich zum Durchmesser ihres Loches D ist. Die Stielstrahlung wird um so wirksamer unterbunden, je näher die erste Hilfsblende B dem Brennfleck ist.

2. Filteranordnung.

Bringt man das Filter in der Nähe der Ionisationskammer an, gleichviel, ob dies eine große oder eine Fingerhutkammer ist, so kann man hierdurch das Ergebnis stark fälschen. Denn man mißt alsdann einen großen Teil der Streustrahlung mit, die vom Filter ausgeht.

Die Größe dieses Filterfehlers ergibt sich deutlich aus einem Versuch von Krönig und Friedrich. Diese unterwarfen die mit 40 cm paralleler Funkenstrecke erzeugte Röntgenstrahlung einmal einer Filterung von 3 mm Aluminium, einmal einer solchen

Tabelle 47. Einfluß der Filterstellung auf die Messung der Schwächung in Prozenten der auffallenden Strahlung nach Krönig und Friedrich.

Das Filter von 5 mm Aluminium befand sich	Reststrahlengemisch: 40 cm Parallelfunkenstrecke und 3 mm Aluminium	und 1 mm Kupfer
in halbem Fokusabstand	48%	25,5%
vor der Ionisationskammer	41%	21,5%

von 1 mm Kupfer. In 50 cm Brennfleckabstand brachten sie eine Fingerhutkammer an und untersuchten, um wieviel Prozent ihres Anfangwertes die obigen Reststrahlengemische geschwächt wurden, wenn sie dieselben mit weiteren 5 mm Aluminium filterten und hierbei dieses Filter einmal in die Mitte zwischen Brennfleck und Ionisationskammer, das andere Mal unmittelbar vor die letztere brachten. Das Ergebnis zeigt Tabelle 47. Der Unterschied beträgt in Prozenten der durchgelassenen Strahlung bei dem mit 3 mm Aluminium gefiltertem Reststrahlengemisch 14,5%, bei dem mit 1 mm Kupfer gefilterten 16%. Aus diesem Grunde ist ein Hauptgesetz für Filtermessungen: das Filter weg von der Ionisationskammer!

Glocker hat unter der Annahme gleichmäßiger Ausbreitung der vom Filter ausgehenden Sekundärstrahlung berechnet, daß deren Einfluß auf die gemessene Ionisation bei Mittelstellung des Filters zwischen Brennfleck und Ionisationskammer ein Minimum wird. Wie wir im III. Kapitel sahen, breitet sich aber die Streustrahlung um so mehr in Primärstrahlrichtung aus, je größer deren Härte ist. Wenn daher das Minimum für die Mittelstellung quantitativ auch nicht eintreten wird, so bleibt trotzdem bestehen, daß die Zusatzstrahlung durch das Filter bei Mittelstellung weitaus geringer sein wird als bei Kammernähe, und es wäre deshalb zweckmäßig, sich bei Filtermessungen stets auf die Mittelstellung zu einigen, weil man dadurch reproduzierbare Verhältnisse schafft.

3. Der Bleischutz der Meßanordnung.

Abgesehen von der Ionisationskammer müssen alle Teile, in denen ebenfalls Ionisation entstehen kann, vor ungewollter Strahlung geschützt sein. Es ist das vor allem derjenige Luftraum, der in Abb. 57, welche eine Ionisationseinrichtung schematisch darstellt, durch Schraffierung hervorgehoben ist.

Abb. 57. Bei unzureichendem Bleischutz findet in den schraffierten Lufträumen ungewünschte Ionisation statt.

Bei vielen Dosimetergeräten ist das Kabel, welches die Fingerhutkammer mit dem Elektrometer verbindet, selbst mit Luft gefüllt. Es ist daher wichtig, dieses Kabel, welches selbst meist keinen hinreichenden Schutz gegen ungewollte Strahlung bietet, wenigstens an seinen biegsamen Stellen durch Hüllen aus Blei oder Bleigummi zu schützen. Unterlassungen können hier zu sehr großen Meßfehlern führen, da der Luftraum der Fingerhutkammer selbst meist nur klein ist im Vergleich zum Luftinhalt des Kabels. Bei großen Kammern ist sorgsam die Kammer selbst, das Elektrometer und die Verbindungsleitung zwischen beiden mit einem hinreichenden Strahlenschutz aus Blei zu umhüllen, welcher nur durch Löcher von genügendem Durchmesser dem Strahlenbündel gerade Raum zum Ein- und Austritt bietet. Diese Maßnahme ist, wegen stets im Raume vorhandener Streustrahlung, unerläßlich. Ein Beispiel für derartigen Strahlenschutz gibt das Standardgerät Abb. 40.

Grebe konnte zeigen, daß der Schwefel, der im Dunkeln einen guten Isolator darstellt, bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen eine erhebliche Zunahme seiner Leitfähigkeit

zeigt, die die Größenordnung des Ionisationsstromes einer kleinen Kammer erreicht. Zum Nachweis dieser Fehlerquelle diente ein Aluminiumkasten von $4 \times 4 \times 1$ cm³ Inhalt; er enthielt eine Innenelektrode von 3×3 cm² Fläche, die mit dem Elektrometer verbunden war. Das Innere des Kastens war mit Schwefel gefüllt. Es zeigte sich, daß die Leitfähigkeit des Schwefels proportional der Intensität der Röntgenstrahlen zunimmt. Das Verhältnis zwischen der Leitfähigkeit des Schwefels und der Ionisation an Luft erwies sich als unabhängig von der Härte der Röntgenstrahlen. Schwefelisolation einer Fingerhutkammer kann daher zu erheblichen Meßfehlern führen, wenn man den Schwefel bei der Justierung nicht sorgsam vor Bestrahlung schützt.

Vor Beginn jeder Beobachtung hat man sich davon zu überzeugen, ob der Bleischutz ausreichend ist. Dies geschieht durch Ausblenden des wirksamen Querschnitts q des Bündels möglichst unmittelbar vor der Ionisationskammer, und zwar bei der intensivsten Strahlung und höchsten Spannung, die für die Untersuchung in Frage kommt. Hierzu

Abb. 58. Prüfung auf ausreichenden Bleischutz bei der großen Kammer.

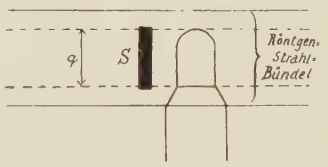


Abb. 59. Prüfung auf ausreichenden Bleischutz bei der Fingerhutkammer.

bedient man sich am besten eines Bleischirmes S von mindestens 5 mm Dicke (Abb. 58 und 59), dessen Umrandung diejenige von q höchstens um 1 mm überragen soll. Die hierbei auftretende Ionisation muß verschwindend klein bleiben im Vergleich zu jeder bei der Messung beobachteten, wenn der Strahlenschutz als ausreichend gelten soll.

4. Isolations- und Dielektrikumsfehler.

Beide sind von Krönig und Friedrich eingehend untersucht worden.

a) Der Isolationsfehler.

Bei ungenügender Isolation der Anordnung wird sich diese auch von selbst ohne Einwirkung der Röntgenstrahlen entladen oder aufladen. Der Mangel an Isolation kann auf Unsauberkeit der Bernsteinisolatoren, bei Gummikabeln auf Unsauberkeit von deren Endstellen oder auf Brüchigkeit derselben durch zu hohes Alter oder auch auf Luftfeuchtigkeit beruhen. Bei Unsauberkeit und Feuchtigkeit hilft am besten Abreiben mit reinem Äther und Nachpolieren mit einem ganz fettfreien Tuch. Zu alte Gummikabel sind auszutauschen.

Vor jeder Messung hat man sich von der Isolation der Anordnung zu überzeugen. Um sich zweifelsfrei vor Ionisationswirkungen zu schützen, stellt man die Röntgenmaschine ab. Zur Prüfung legt man Sättigungsspannung an. Die Isolation ist nur dann hinreichend, wenn der Selbstablauf des Instrumentes verschwindend klein bleibt im Vergleich zu jedem während der Messung beobachteten Ablaufe.

b) Der Dielektrikumsfehler.

Eine ebenfalls auf dem Ionisationsmaterial beruhende Fehlerquelle ist die, daß die Ladung des Elektrometersystems allmählich in das isolierende Material hineinkriecht, um während der Messung wieder aus ihm herauszukriechen. Um sich ein Bild von der

Größe dieser Fehlerquelle zu verschaffen, haben Krönig und Friedrich eine Reihe von Versuchen angestellt, bei denen sie die Elektrizitätsmenge, die während der verschiedenen, für die Messungen in Betracht kommenden Zeiten in das Isoliermaterial hinein- bzw. herauskroch, bestimmten. Hierbei spielt natürlich die Güte der Isolation eine Rolle.

Bei Kurve I der Abb. 60 wurde die Entladung des nach langer Pause frisch aufgeladenen Elektrometers von 5 zu 5 Minuten beobachtet. Während 100 Minuten zeigt sich ein Ladungsverlust um mehr als die Hälfte der zwölfteiligen Skala: die Ladung kriecht von dem Elektrometer in den Isolator.

Vor Aufnahme der Kurve II war das Gerät 5 Stunden lang in völlig geladenem Zustande bis zum Teilstrich 0 gehalten worden. Hier zeigt sich während 100 Minuten ein Ladungsverlust von etwa zwei Skalenteilen: durch die voraufgegangene Aufladung ist der Isolator bereits so stark mit Elektrizität angefüllt, daß er dem Elektrometersystem während 100 Minuten nur noch eine geringe Ladung zu entziehen vermag.

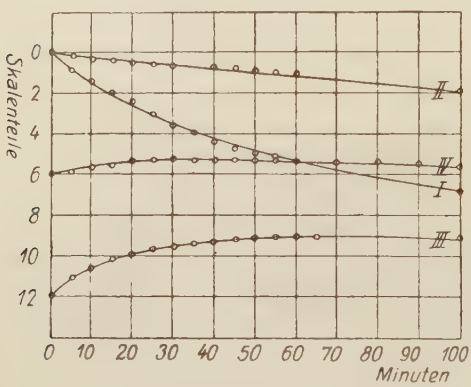


Abb. 60. Isolations- und Dielektrikumsfehler des Iontoquantimeters von Krönig und Friedrich.

Wurde das Gerät 5 Stunden lang auf Ladung gehalten und dann möglichst schnell völlig entladen, so ergab die anschließende Beobachtung Kurve III. Die Ladung kriecht hier aus dem Isolator auf das System zurück. Indessen zeigt sich hier nach etwa 50 Minuten angenäherter Stillstand.

Vor Aufnahme der Kurve IV wurde das Elektrometer lange Zeit aufgeladen und dann nur bis zur Hälfte entladen. Die anschließende Beobachtung zeigt nur noch einen Gang um weniger als einen Skalenteil. Ein- und Auskriechen der Ladung halten sich hier annähernd das Gleichgewicht.

Die Beobachtungen von Krönig und Friedrich lehren, daß Vernachlässigung der Dielektrikumseigenschaften bei sehr langsam ablaufenden Instrumenten zu sehr großen Fehlern führen kann. Bei den meisten heute gebräuchlichen Dosimetergeräten erfolgt der Ablauf in wenigen Sekunden und der Dielektrikumsfehler wird deshalb innerhalb der Einzelmessung keine Rolle spielen. Immerhin wird man sich über seinen Einfluß durch Versuche, wie sie Krönig und Friedrich anstellten, Rechenschaft abzulegen haben.

Wie wir im XV. Kapitel sehen werden, sind Geräte vom Typ A und B frei vom Isolations- und Dielektrikumsfehler. Aber nur wenige der gebräuchlichen Dosimetergeräte sind von diesem Typ.

5. Der Dunkeleffekt.

Die unter 3. und 4. behandelten Einflüsse: unzureichender Strahlenschutz, mangelnde Isolation und der Dielektrikumsfehler bedingen eine Anzeige des Gerätes auch ohne Bestrahlung der Ionisationskammer. Wir wollen sie unter dem Namen „Dunkeleffekt“ zusammenfassen.

Läßt sich der Dunkeleffekt nicht völlig unterdrücken, so muß man ihn durch eine Korrekturrechnung ausschalten. Ist J_w die wahre, J_b die beobachtete Intensität und täuscht der Dunkeleffekt eine Intensität J_D vor, so ist

$$J_w = J_b - J_D .$$

Die durch den Dunkeleffekt bewirkte Ablaufzeit zwischen den Skalenteilen A und B betrage t_D Sekunden, diejenige bei Bestrahlung zwischen denselben Skalenteilen t_b, während der wahren Ionisation die Ablaufzeit t_w entsprechen möge. Da die Ablaufzeiten umgekehrt proportional den Intensitäten sind, so gilt

$$\frac{1}{t_w} = \frac{1}{t_b} - \frac{1}{t_D} = \frac{t_D - t_b}{t_b \cdot t_D}, \tag{86}$$

oder

$$t_w = \frac{t_b \cdot t_D}{t_D - t_b}. \tag{87}$$

Ein Beispiel erläutere die Ausführung.

Zwischen den Skalenteilen A und B beträgt der Dunkeleffekt 115 Sekunden, während man bei Bestrahlung 7 Sekunden mißt.

Dann ist die wahre Ablaufzeit

$$t_w = \frac{7 \cdot 115}{115 - 7} = \frac{805}{108} = 7{,}46 \text{ Sekunden},$$

und die wahre Intensität ist proportional

$$J_w = \frac{1}{7{,}46} = 0{,}134.$$

6. Der elektrostatische Schutz und die Erdung.

Nach dem bekannten Versuch von Faraday ist es unmöglich, ein Elektrometer, das sich in einer allseitig geschlossenen, metallischen Umhüllung befindet, dadurch aufzuladen, daß man der Umhüllung eine Ladung erteilt. Denn sobald sich diese mitgeteilte Ladung verteilt hat, befindet sie sich nur an der Oberfläche der Umhüllung. In ihr Inneres greifen keine Kraftlinien ein.

Besitzt die Umhüllung demgegenüber eine Öffnung, die frei oder mit einem Isolator bedeckt ist, so kann das in ihrem Innern befindliche Elektrometer starke Ladungen erhalten. Denn durch die Öffnung können Kraftlinien aus der Umgebung in das Innere der Umhüllung und damit auf das Elektrometer übergreifen. Noch schlimmer ist es, wenn ein Teil der Umhüllung isoliert ist; denn dann kann sich die mitgeteilte Ladung nicht über die ganze Oberfläche ausbreiten, und das Elektrometer steht dann gleichsam im Innern eines Kondensators.

Die im Handel befindlichen Dosimetergeräte sind im allgemeinen mit einer gut leitenden, die ganze Anordnung umschließenden metallischen Umhüllung versehen. Eine Öffnung, die mit einem Isolator bedeckt ist, stellt aber das Glasfenster dar, durch das man Zeiger und Skala beobachtet. Hier ist ein Eingang für Störungen zu suchen. Denn wenn man das Gerät in die Nähe der Hochspannungsleitung bringt, so muß man damit rechnen, daß durch Influenz oder Überkriechen von Ladungen dauernd eine Aufladung seiner Umhüllung stattfindet. Um sich vor dieser Fehlerquelle zu schützen, empfiehlt es sich, das Fenster mit einem ganz feinmaschigen Drahtnetz zu überdecken, das noch genügenden Durchblick gewährt und mit der Umhüllung in gut leitender Verbindung stehen muß.

Ob die Verbindung der leitenden Umhüllung eine Unterbrechung erlitten hat, läßt sich leicht mit einem elektrischen Läutewerk in derselben Weise feststellen, wie man Sicherungen darauf prüft, ob sie durchgebrannt sind.

Der oben angeführte Faradaysche Versuch gilt für ruhende Ladungen. Die Verhältnisse liegen bei unseren Dosimetern, vor allem bei solchen, die durch ein Kabel eine besonders langgestreckte Form besitzen, insofern etwas anders, als vermöge der induzierenden und influenzierenden Wirkung des hochgespannten Wechselstromes dauernd Ladungen auf der Umhüllung des Meßgerätes entlangfließen. Es ist nicht ohne weiteres zu überblicken, ob hierdurch ein Ausschlag des umhüllten Elektrometers bedingt werden kann. Um dies zu prüfen, ließ der Verfasser, wie dies in Abb. 61 dargestellt ist, die Entladung eines Funkeninduktors in Form eines prasselnden Funkenbandes ihren Weg über das mehrere Meter lange Kabel eines Iontoquantimeters von Reiniger, Gebbert & Schall nehmen. Es zeigte sich hierbei auch nicht der geringste Ausschlag. Man wird hieraus den Schluß ziehen dürfen, daß, zum wenigsten bei diesem Gerät, Ladungen, die unter dem Einfluß der Hochspannungsleitung auf der Umhüllung des Gerätes hin und her fließen, ohne Einfluß auf die Angaben des Instruments sind.

Man begegnet immer wieder in der Literatur der Angabe, daß, um Störungen der Messung zu vermeiden, die Umhüllung des Gerätes geerdet sein müsse. Nach dem Gesagten vermag eine solche Erdung vorhandene Störungen nicht zu beseitigen. Denn sie vermag es nicht zu verhindern, daß unter Einwirkung der Hochspannung Ladungen auf der Umhüllung des Gerätes hin und her fließen. Ebensowenig kann sie das Eingreifen von Kraftlinien durch das Glasfenster unterbinden. Abhilfe gegen Störungen sind daher in der oben angegebenen Richtung zu suchen.

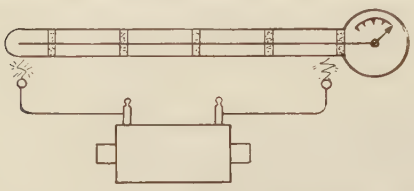


Abb. 61. Prüfung auf Störungsfreiheit des Iontoquantimeters bei hochgespanntem Wechselstrom.

Erdung des Gerätes ist demgegenüber zum Schutze des Beobachters vor elektrischen Schlägen unerläßlich. Springt ein Funke von der Hochspannungsleitung auf das Gerät über, so kann der Strom alsdann auf direktem Wege zur Erde abfließen, während bei nichtvorhandener oder unzureichender Erdung des Gerätes Gefahr besteht, daß die Entladung über den Körper des Beobachters erfolgt.

Zeigt es sich, daß ein Gerät nur nach Anlegen der Erdung störungsfrei arbeitet, so ist das ein Beweis für Fehlerhaftigkeit seines elektrostatischen Schutzes. Ehe man diesen Fehler nicht gefunden und beseitigt hat, sind die Angaben des Gerätes auch bei Erdung unbrauchbar.

7. Sättigung.

Daß Sättigung Vorbedingung für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist, wurde schon wiederholt auseinandergesetzt.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Meßgeräte.

Sättigung ist die Vorbedingung für richtige Ionisationsmessung. Um diese zu erhalten, muß eine verhältnismäßig hohe Spannung zwischen der Kammerwand und der Meßelektrode vorhanden sein. Dies gilt, ganz gleichgültig, nach welcher Methode die Messung durchgeführt wird. Während sich nun alle im XIV. Kapitel aufgeführten Fehlerquellen durch hinreichende Vorsichtsmaßregeln ausschalten lassen, hängt der Isolations- und Dielektrikumsfehler von dem Isolator zwischen Meßelektrode und

Kammerwand ab. Inwieweit er im Einzelfall unterdrückt wird, kommt auf die Konstruktion der Meßanordnung an. Wir müssen deshalb ganz allgemein zwei Konstruktionsprinzipien unterscheiden.

1. Vermeidung von Isolations- und Dielektrikumsfehlern durch das Schutzringprinzip.

Prinzip: Die Isolatoren, welche die Elektrode tragen, deren Aufladung gemessen werden soll, liegen stets nur zwischen sehr kleinen Spannungsunterschieden von wenigen Volt.

Ausführung A (Abb. 62). Die hohe Sättigungsspannung zwischen der Außenwand der Ionisationskammer K und der Meßelektrode E wird von den Isolatoren i aufgenommen. Diese befinden sich zwischen der Kammerwand und dem in diesem Falle zylinderförmigen „Schutzring" S, der mit der Elektrometerhülle und der Erde in Ver-

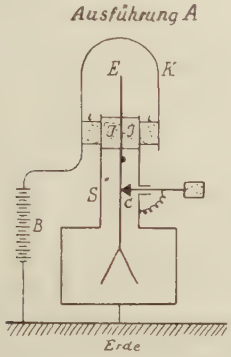


Abb. 62. Ionisationsgerät Typ A nach dem Schutzringprinzip.

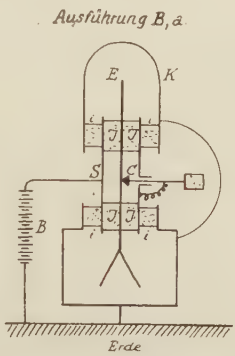


Abb. 63. Ionisationsgerät Typ Ba nach dem Schutzringprinzip.

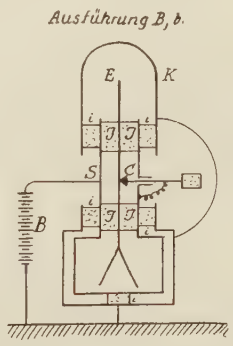


Abb. 64. Ionisationsgerät Typ Bb nach dem Schutzringprinzip.

bindung steht. Für Isolation zwischen E und S sorgt der Isolator J. Vor der Messung ist E durch den Kontakt C mit S verbunden und daher geerdet. Zur Messung wird C geöffnet und E ladet sich durch die Ionisation um einige Volt auf, die bei hinreichender Empfindlichkeit des Elektrometers einen Ausschlag über die ganze Skala bewirken können.

Als Beispiel für diese Ausführung diene das Standardgerät (Abb. 40).

Für manche Zwecke, so z. B. bei einer Fingerhutkamera, die in Körperhöhlen eingeführt werden soll, ist es ein Nachteil dieser Ausführung, daß die Kammerwand an Sättigungsspannung liegt. Dies wird vermieden durch

Ausführung B. Hierbei ist die Wand der Kammer K mit der Elektrometerhülle verbunden und geerdet. Die Isolatoren i, welche wiederum die Sättigungsspannung aufnehmen, befinden sich wieder zwischen der Kammerwand und dem Schutzring S, welcher bei dieser Ausführung aber an Sättigungsspannung liegt. Vor Beginn der Messung ist die Meßelektrode E durch den Kontakt C mit S verbunden. Bei der Ausführung Ba (Abb. 63) entspricht der Ausschlag des Elektrometers vor Beginn der Messung also der vollen Sättigungsspannung. Zur Messung wird C geöffnet und E erleidet infolge der Ionisation einen Ladungsverlust, der einigen Volt entspricht. Bei dieser Ausführung ist also nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der Skala, entsprechend dem Rückgang der Sättigungsspannung um einige Volt, zur Messung verwendbar. Um diesen Nachteil zu beheben, kann man bei der Ausführung B, b (Abb. 64) den Schutzring S durch Er-

weiterung nach unten hin zur Elektrometerwand ausbilden. Dann liegt zwischen dieser und E durch Schließen des Kontaktes C vor der Messung kein Spannungsunterschied und bei Öffnen von C ladet sich E durch die Ionisation um einige Volt auf, die bei hinreichender Empfindlichkeit des Elektrometers einen Ausschlag über die ganze Skala bewirken können.

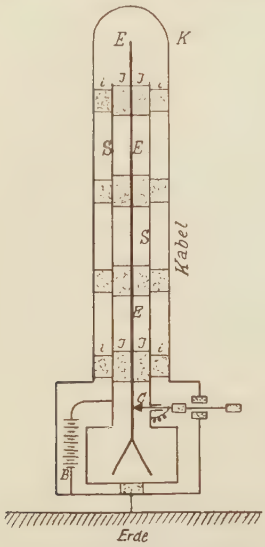


Abb. 65. Ionisationsgerät Typ Bb nach dem Schutzringprinzip, mit Kabel.

Die Ausführung B eignet sich für Fingerhutkammer mit Kabelverbindung zum Meßgerät; als Beispiel hierfür diene Abb. 65, welche der Ausführung B, b entspricht. Freilich muß man hier für die Gewißheit, den Ionisations- und Dielektrikumsfehler zu unterdrücken, eine konstruktionelle Komplikation in Kauf nehmen: das Kabel muß aus drei voneinander isolierten Leitern bestehen, die einander umhüllen, nämlich der Elektrode E, der auf Sättigungsspannung liegenden Schutzhülle S und dem metallischen Panzer des Kabels, der mit der Umhüllung der ganzen Anordnung und der Erde in Verbindung steht und möglichst gut mit Blei geschützt sein soll.

In den hier besprochenen Fällen mit Ausnahme von B, a muß das Elektrometer schon bei wenigen Volt einen hinreichenden Ausschlag zeigen, also ziemlich empfindlich sein. Aus diesem Grunde wird man sich im allgemeinen zur Erzeugung einer gut konstanten Sättigungsspannung einer Batterie B bedienen müssen, die am einfachsten aus Trockenelementen besteht; die Lichtleitung läßt sich meist deshalb nicht verwenden, weil sich Netzschwankungen zu stark auf das hochempfindliche Elektrometer durch Influenz übertragen, und elektrostatische Aufladung läßt sich meist während der erforderlichen Beobachtungszeit nicht hinreichend konstant halten.

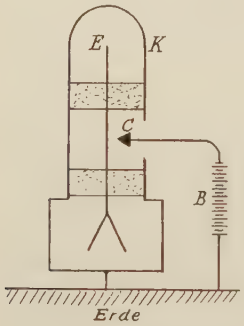


Abb. 66. Ionisationsgerät ohne Schutz gegen Isolations- und Dielektrikumsfehler.

2. Geräte ohne Ausschaltung der Isolations- und Dielektrikumsfehler.

Prinzip: Die Isolatoren, welche die Meßelektrode tragen, liegen zwischen der gesamten Sättigungsspannung. Gegen überkriechende Ladungen und Dielektrikumsfehler besteht deshalb kein Schutz.

Die wegen ihrer Einfachheit meist angewandte Ausführungsform zeigt Abb. 66. Elektrometerhülle und Kammerwand sind geerdet, und die Meßelektrode wird vor Beobachtungsbeginn durch den Kontakt C auf Sättigungsspannung geladen. Das Elektrometer zeigt deshalb zu Anfang einen Ausschlag, der durch die Ionisation und den damit verbundenen Ladungsverlust von E zurückgeht. Hierbei sinkt der Spannungsunterschied zwischen E und K, und man darf deshalb den Rückgang der Ladung nur solange zur Messung ausnutzen, als der jeweilig vorhandene Spannungsvorrat zur Sättigung ausreicht.

3. Aufladevorrichtungen.

a) Netzspannung. Bei Gleichspannung kann diese zur Aufladung dienen. Um eine beliebige Spannung herzustellen, bedient man sich meist der „Potentiometeranordnung“

(Abb. 67). Zwischen die Pole der Lichtleitung wird ein Regulierwiderstand von einigen tausend Ohm gelegt; man kann von diesem eine beliebige Spannung abgreifen und sie an einem Voltmeter ablesen. Zum Schutz des Elektrometers vor Kurzschluß dient ein Schutzwiderstand S von einigen Millionen Ohm, z. B. ein Silitwiderstand.

b) Batterie. Diese kann aus kleinen Akkumulatoren oder Trockenelementen bestehen. Beide halten den Stromverbrauch einer Potentiometeranordnung in der Regel nicht aus. Um die Spannung beliebig variieren zu können, muß man an jedem beliebigen Element anschließen können. Ein Schutzwiderstand S ist ebenfalls unerläßlich.

Es ist ein Vorzug solcher Batterien, daß man sie durch eine metallische, geerdete Umhüllung elektrostatisch schützen kann.

c) Aufladevorrichtung nach Brenzinger. Das Prinzip derselben ist folgendes: Ladet man einen Kondensator der Kapazität C mit Hilfe einer Gleichspannungsquelle

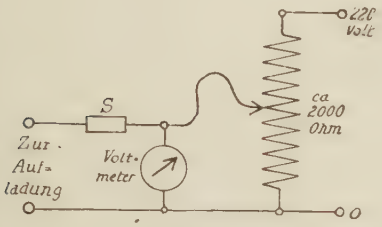


Abb. 67. Potentiometeranordnung.

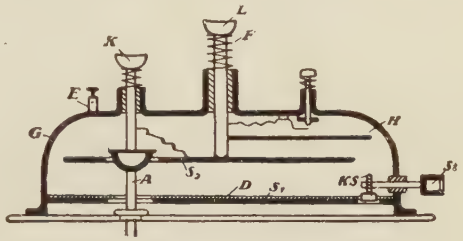


Abb. 68. Aufladevorrichtung nach Brenzinger.

(Netz, Batterie) auf die Spannung v auf, so ist die auf ihm vorhandene Elektrizitätsmenge L

$$L = C \cdot v. \tag{88}$$

Verkleinert man nach Entfernen der Spannungsquelle die Kapazität des Kondensators auf den Wert c, so besteht die Beziehung:

$$L = c \cdot V. \tag{89}$$

Da die Elektrizitätsmenge L hierdurch nicht verändert wurde, so muß

$$C \cdot v = c \cdot V \tag{90}$$

sein und die Spannung ist auf den Wert

$$V = v \cdot \frac{C}{c} \tag{91}$$

gestiegen. Ein Kondensator besteht in seiner einfachsten Ausführung aus zwei Metallplatten, die durch einen Isolator getrennt sind. Man verkleinert die Kapazität eines solchen am einfachsten dadurch, daß man die Platten auseinanderzieht. Die Ausführung von Brenzinger ist in Abb. 68 dargestellt. Das Metallgehäuse G ist unten durch die Metallscheibe S_1 abgeschlossen und durch die Klemme E geerdet. Eine zweite Metallscheibe S_2 kann durch den isolierten Druckknopf L gegen den Isolator D gepreßt werden. In niedergedrücktem Zustande steht S_2 durch den Hebel H über die Kontaktschraube KS und den Steckkontakt St mit der Spannungsquelle in Verbindung und wird dadurch aufgeladen. Vermindert man den Druck auf L, so hebt sich S_2, H löst sich von KS und die Spannung steigt mit der Entfernung von S_1. Bei einem geeigneten Spannungswerte kann man durch Niederdrücken des Knopfes K eine Verbindung zwischen S_2 und A und auf diesem Wege mit dem Elektrometer herstellen, welches hierdurch aufgeladen wird.

Um die Anordnung auch bei Wechselstromnetz gebrauchen zu können, ist die Glühlampe, die zur Beleuchtung des Elektrometers dient, durch Anbringen eines dritten Kontaktes als Glühventil ausgebildet.

d) Aufladung durch Reibungselekterisiermaschine. Sehr viele Geräte besitzen eine kleine Reibungselektrisiermaschine. Eine vielfach gebrauchte Ausführungsform ist die folgende. Durch Drehen an einer Kurbel wird eine kleine Hartgummiwalze an einem Isolierstoff gerieben. Die hierbei entstandene elektrische Ladung wird durch Druck auf einen Knopf dem Elektrometer mitgeteilt. Vor der Inbetriebnahme und bei feuchtem Wetter empfiehlt sich Abreiben der Walze mit einem seidenen Lappen. In gutem Zustande erhält die Maschine ihre Ladungsfähigkeit tage-, ja monatelang.

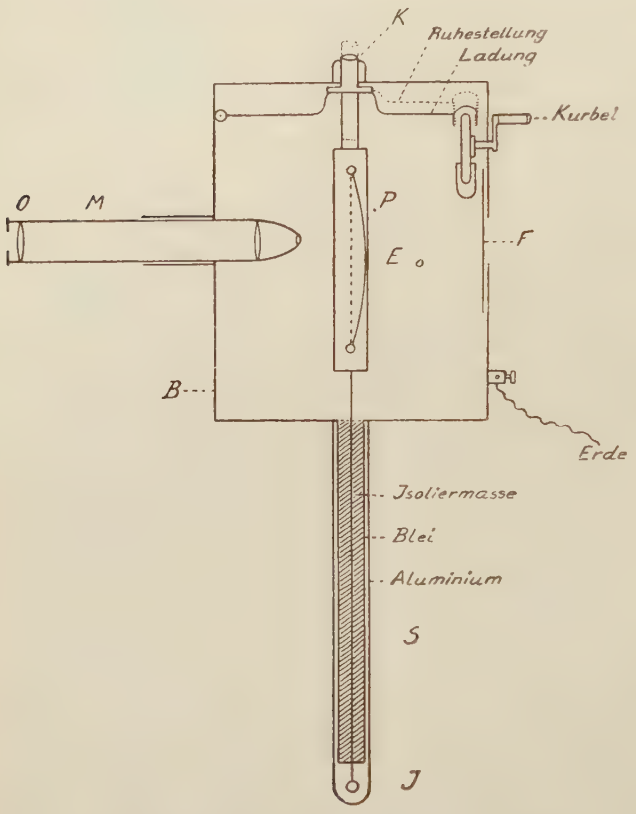


Abb. 69. Ionimeter nach Martius von C. H. F. Müller mit Einfadenelektrometer nach Grebe.

4. Ablaufende Elektrometergeräte.

Die Meßmethode ist die im XIII. Kapitel entwickelte.

Vollständigkeit bei der Aufzählung dieser Geräte ist nicht möglich. Es können daher nur einige in Deutschland besonders gebräuchliche Instrumente aufgeführt werden.

a) Einfadenelektrometer. Für wissenschaftliche Untersuchungen eignen sich diese am besten in der Ausführung mit Schneiden veränderlichen Abstandes nach Lutz und Quarzfadenaufhängung veränderlich einstellbarer Spannung nach Wulf. Die Bewegung des Fadens, der aus einem Platindraht von 1 bis 5 Tausendstel Millimeter Dicke besteht, wird an einem Mikroskop von etwa hundertfacher Vergrößerung abgelesen. Die Fadenbewegung erfolgt im elektrischen Felde zwischen den Schneiden S_1 und S_2, die durch zwei Batterien auf entgegengesetzt gleicher Spannung gehalten werden. Die Vorzüge dieses Elektrometers sind folgende:

seine Empfindlichkeit läßt sich innerhalb eines außerordentlich großen Bereichs beliebig ändern;
sein Ausschlag ist für die ganze Skala weitgehend proportional der Spannung;
seine Einstellung erfolgt momentan (trägheitslos);
seine Kapazität ist sehr klein.

Das Standardgerät bedient sich dieses Elektrometers; es ist in Abb. 40 wiedergegeben.

b) Zweifadenelektrometer nach Wulf mit Quarzfadenaufhängung. Die Aufladung beider unmittelbar nebeneinander ausgespannter Fäden bewirkt eine gegenseitige Abstoßung und eine Anziehung derselben durch die geerdeten Elektrometerwandungen. Die Einstellung der Fäden wird im Mikroskop abgelesen. Ihre Einstellung erfolgt ebenfalls momentan, aber die Empfindlichkeit ist geringer als die eines Einfadenelektrometers. Sein Vorzug ist, daß es einer Hilfsbatterie zum Aufladen der Schneiden nicht bedarf. Krönig und Friedrich bedienten sich desselben bei ihren grundlegenden Untersuchungen.

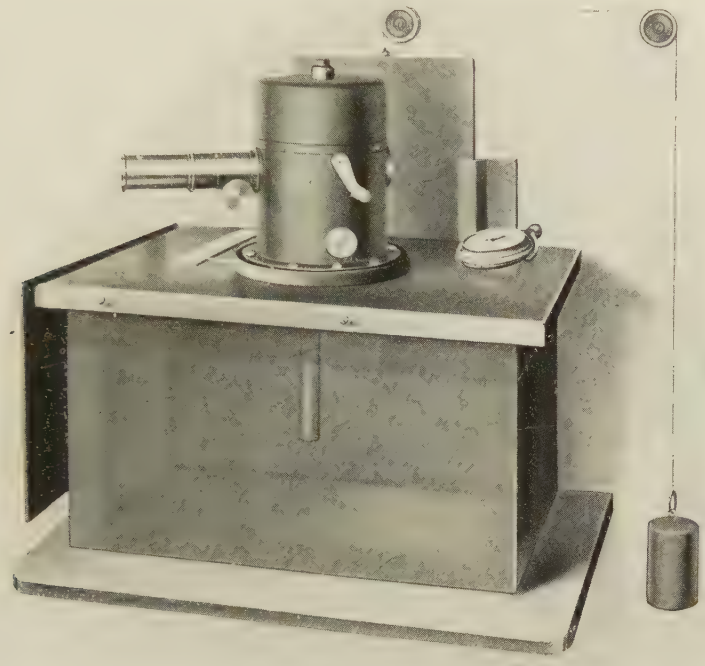


Abb. 70. Ionimeter nach Martius von C. H. F. Müller mit Einfadenelektrometer nach Grebe, Außenansicht.

Ein weiterer Vorzug aller Fadenelektrometer ist ihre große Unempfindlichkeit gegen Stoß.

c) Das Einfadenelektrometer von Grebe zeichnet sich durch Einfachheit und Billigkeit aus. Sein Faden besteht aus einem etwa ein zweihundertstel Millimeter dicken, platinierten Quarzfaden. Dieser ist (Abb. 69) in etwa 1 mm Abstand von der Messingplatte P leicht gekrümmt mit seinen Enden an zwei Klötzchen befestigt. Bei Aufladung des Systems wird der Faden von der Platte abgestoßen und seine Bewegung wird im Mikroskop M beobachtet.

d) Das Ionimeter nach Martius von C. H. F. Müller bedient sich des Elektrometers nach Grebe. Am Boden desselben ist ein Aluminiumrohr senkrecht angebracht, welches einen Bleischutz, die Schwefelisolation und die Innenelektrode enthält und an seinem unteren, geschlossenen Ende als Fingerhutkammer ausgebildet ist. Diese

Abb. 71. Ionimeter mit Einfadenelektrometer nach Wulf von Koch und Sterzel.

taucht in ein Wasserphantom. Durch Verschiebung des Elektrometers mit seiner Fingerhutkammer gemeinsam längs einer Skala kann man bei horizontalem Strahlengang die Ionisation in verschiedener Tiefe unter der senkrechtstehenden Wasseroberfläche messen (Abb. 69 und 70).

e) Das Ionometer nach Wulf von Koch & Sterzel (Abb. 71) bedient sich des Einfadenelektrometers nach Wulf. Sein Faden wird durch eine Glühlampe auf eine lichtgeschützte Mattglasscheibe projiziert, welche die Skala trägt. Die Fingerhutkammer besteht aus Kohle und kann entweder starr oder durch ein Kabel mit dem Elektrometer verbunden werden.

Ein besonderer Vorteil dieses Gerätes ist der, daß sich die Reibungselektrisiermaschine für die Aufladung vor und nach dem Drehen an der Kurbel selbsttätig an- und abschaltet. Hierdurch läßt sich der Faden mit großer Leichtigkeit auf jede beliebige Stelle der Skala bringen.

f) Das Iontoquantimeter von Reiniger, Gebbert & Schall besitzt ein Zeigerquadrantelektrometer. Abb. 72 zeigt das Gerät, Abb. 73 seine Skala. Die Fingerhutkammer besteht aus Aluminium von 0,25 mm Dicke und ist durch ein Kabel mit jenem verbunden. Die Isolation des in Paragummi eingebetteten Kabels wird durch Bernsteinpfropfen bewirkt.

g) Das Dosimeter von Friedrich (Abb. 74) besitzt eine Fingerhutkammer aus graphitiertem Horn, die durch ein gummiisoliertes Kabel ebenfalls mit einem Zeiger-

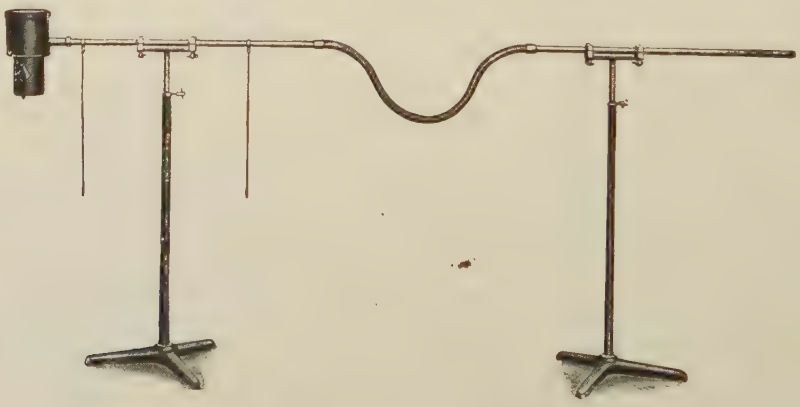


Abb. 72. Iontoquantimeter von Reiniger, Gebbert und Schall.

elektrometer verbunden ist. Durch Wahl der Größe, der Wandstärke und des Materials der Ionisationskammer ist ein Parallelgehen von biologischer Wirkung und Messung

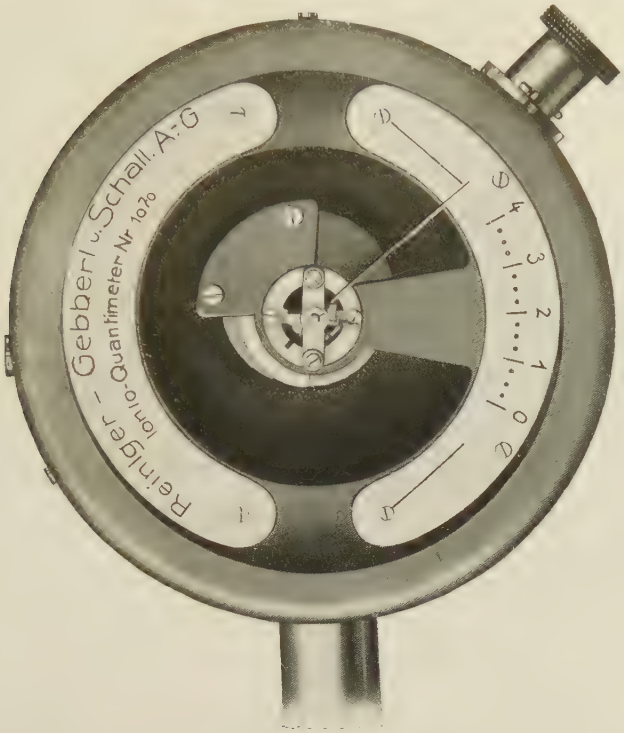


Abb. 73. Skala des Iontoquantimeters von Reiniger, Gebbert und Schall.

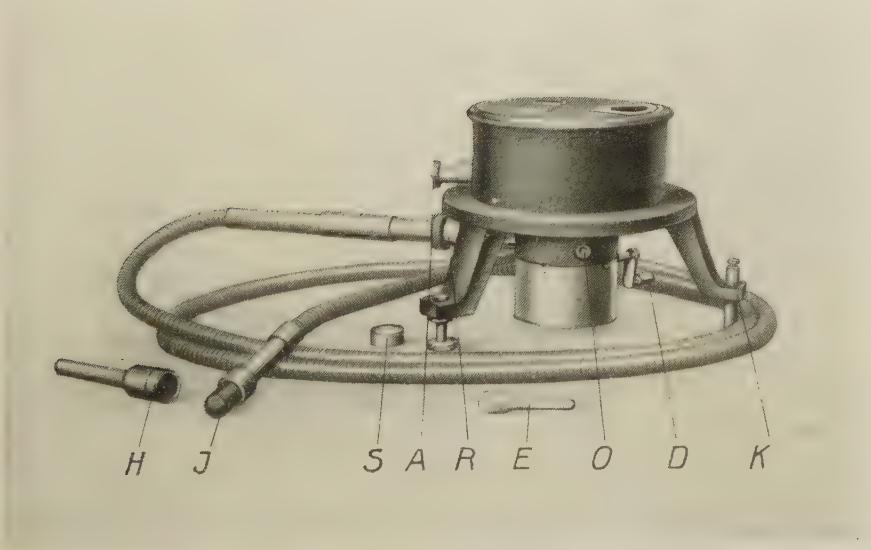


Abb. 74. Dosimeter nach Friedrich.

innerhalb eines gewissen Härtebereiches erreicht. Das Gerät ist nach Friedrichschen Einheiten e bzw. Behnkenschen Einheiten „R“ geeicht.

h) Das Elektroskop nach Back (Abb. 75), in der Ausführung der Veifawerke, ist nach dem Prinzip der Blattelektroskope gebaut. Das Blatt, bestehend aus einem Kohlefaden, wird durch eine Glühlampe auf eine Mattglasskala projiziert. Die große Ionisationskammer ist fest mit dem Elektrometer verbunden. Durch einen Tubus, der in seinem Innern Blenden trägt, und durch eine dünne Zelluloidfolie tritt das Röntgenstrahlbündel in die Kammer und fällt in dieser zwischen zwei Kohleplatten hindurch, deren untere geerdet und deren obere mit dem Elektroskop leitend verbunden ist (Abb. 76). Der Tubus ist auch zur Aufnahme der Filter bestimmt.

Abb. 75. Elektroskop nach Back, Außenansicht (Veifa-Werke).

Der Tubus kann abgenommen und durch ein gepanzertes Kabel ersetzt werden. Dieses trägt an seinem freien Ende eine Friedrichsche Fingerhutkamera, deren Meßelektrode durch die hochisolierte Zuleitung mit der oberen Kohleplatte und so mit dem Blattelektroskop in Verbindung gesetzt wird.

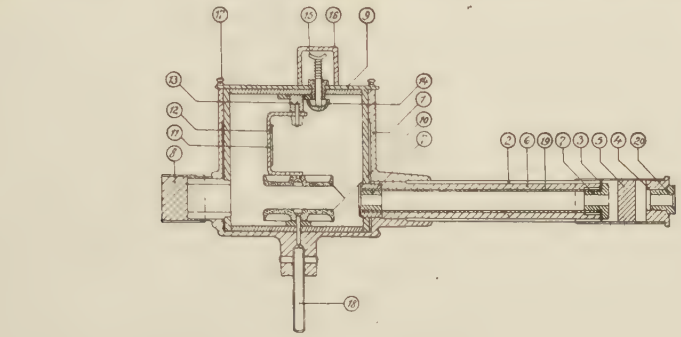
Die Geräte d bis h werden durch eine Reibungselektrisiermaschine aufgeladen; die Geräte f und h werden auch mit der Vorrichtung von Brenzinger geliefert.

5. Direkt zeigende Geräte.

Der Vorteil dieser Geräte den ablaufenden gegenüber besteht darin, daß die Angabe des Zeigers direkt ein Maß für die Ionisation liefert, während bei den ablaufenden Geräten zur Bestimmung jeder Ablaufzeit zwei Beobachtungen nötig sind, deren reziproker Wert 1/t erst die Ionisation angibt. Die Methode bringt also Zeitersparnis bei der Messung mit sich.

a) Das Iontogalvanometer von Janus (Abb. 77). Dasselbe benutzt eine Riesenionisationskammer. Diese besteht aus einer großen Anzahl graphitierter Papierflächen von 40 × 50 qcm Größe, die in 10 mm gegenseitigem Abstand so angeordnet sind, daß je die geradzahligen und die ungeradzahligen Flächen ein zusammenhängendes System bilden. Beide Systeme sind kreuzweise ineinandergestellt. Die Sättigungsspannung

liefert eine Trockenbatterie von 100 Volt; ihr einer Pol steht direkt mit dem einen System in Verbindung, ihr anderer Pol über ein Drehspul-Zeigergalvanometer mit dem anderen System. Ein Teilstrich des hochempfindlichen Galvanometers entspricht einem Zehnmillionstel Ampere. Der eine Pol der Batterie ist geerdet; die Ionisationskammer und



1. Gehäuse d. Elektroskop mit Blei ausgekleidet
2. Kathod. m. Tubus. Blendenöffnung 20 mm
3. Tiffergehäuse
4. Vorsatz-Blende 20 mm
5. Tiffer u. Raum für weitere Tiffer
6. Blenden-Tubus aus Blei
7. Blenden im Tubus aus Messing
8. Abschluss-Kapsel aus Messing
9. Abschluss-Deckel d. Elektr. (m. Blei bekleidet)
10. Kohlenplatten der Ionisationskammer
11. Bügel, Träger des Elektroskop-Bleirohres
12. Elektroskop, Faden der durch. Abfall beobachtet wird.
13. Bernstein-Isolation des Elektroskopes
14. Ladeknopf im inneren des Elektroskopes
15. Ladebügel beim Laden herunterdrücken
16. Bleischutzkappe über Ladevorrichtung
17. Verschraubung des Deckels
18. Schraube zum befestigen des Elektroskopes am Stativ oder Konsol
19. Blendenrohres 10 mm einsteckbar
20. Blendenkappe 10 mm einsteckbar

Abb. 76. Elektroskop nach Back, Innenansicht (Veifa-Werke).

die Batterie sind von einer geerdeten Metallhülle umgeben und auch die Zuleitung zum Galvanometer befindet sich in einem geerdeten Metallschlauch. Die Zahl der wohl zum großen Teile durch Bestrahlung der graphitierten Papierflächen gebildeten Träger ist so groß, daß bei 25 cm Brennfleckabstand und bei 2,5 MA. die Strahlung einer harten Siederöhre einen Ausschlag von 30 Teilstrichen am Galvanometer ergibt.

b) Der Siemens-Röntgendosismesser. Dieser verstärkt durch Verwendung einer Glühkathoden-Verstärkerröhre den schwachen, in einer Fingerhutkammer aus graphitiertem Horn entstehenden Ionisationsstrom auf etwa das Hunderttausendfache, so daß dieser an einem empfindlichen Drehspul-Zeigergalvanometer abgelesen werden kann. Die Wirkungsweise der Verstärkerröhre ist in der Abb. 78 schematisch dargestellt. Ein gasfreies Rohr besitzt einen Wolframdraht, der durch eine Heizbatterie zur Weißglut erhitzt werden kann. Ihm gegenüber befindet sich ein Drahtgitter, in der Abbildung durch eine gestrichelte Gerade ange-

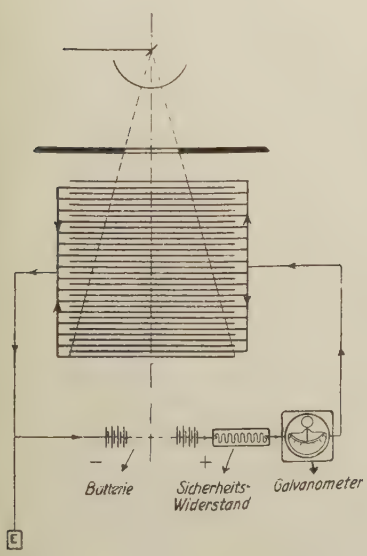


Abb. 77.
Iontogalvanometer von Janus.

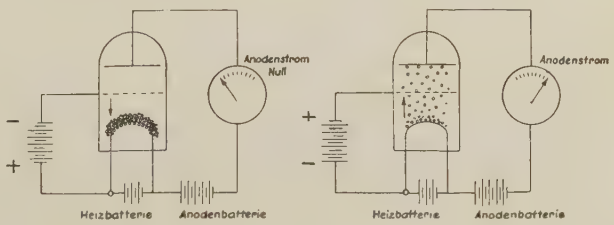


Abb. 78. Wirkungsweise der Verstärkerröhre.

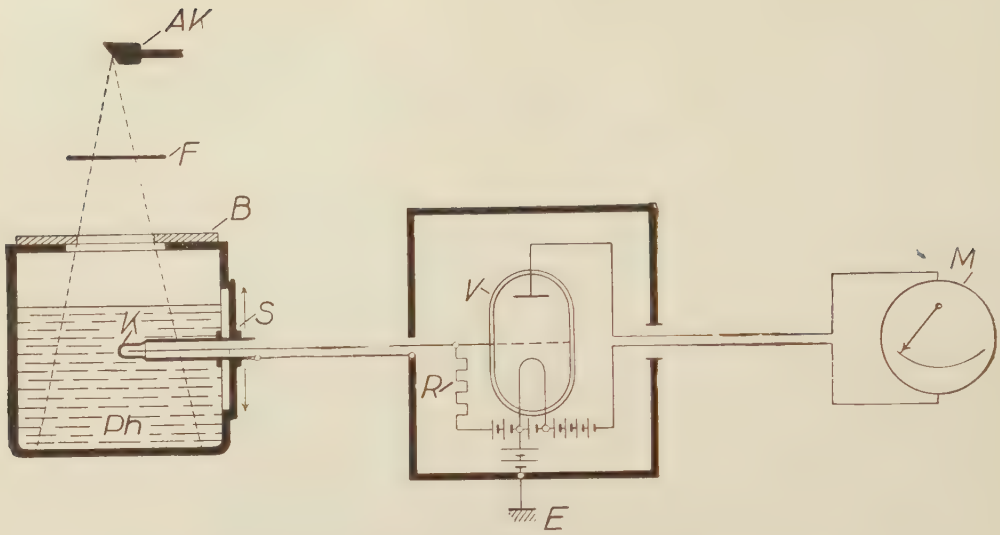


Abb. 79. Schaltungsschema des Siemens-Röngten-Dosismessers.

deutet, und hinter diesem die Anode, in der Abbildung durch einen geraden Strich dargestellt. Aus dem glühenden Drahte treten, ebenso wie bei der Glühkathodenröntgenröhre, Elektronen aus. Verbindet man den Glühdraht mit dem positiven, das Gitter mit dem negativen Pol einer Batterie, wie das die linke Zeichnung der Abb. 78 darstellt, so werden die Elektronen von dem Gitter abgestoßen und können nicht durch dieses hindurch zur Anode gelangen, und zwar auch dann nicht, wenn diese auf dem Umwege über ein Galvanometer mit dem positiven Pol der Anodenbatterie verbunden ist, deren negativer Pol am Glühdraht liegt. Kehren wir aber, entsprechend der rechten Zeichnung von Abb. 78, die Pole der Gitterbatterie um, so werden die aus dem Glühdraht austretenden Elektronen von dem nunmehr positiven Gitter angezogen und fliegen durch dessen Maschen auf die noch positivere Anode, so daß nunmehr in dem Strom-

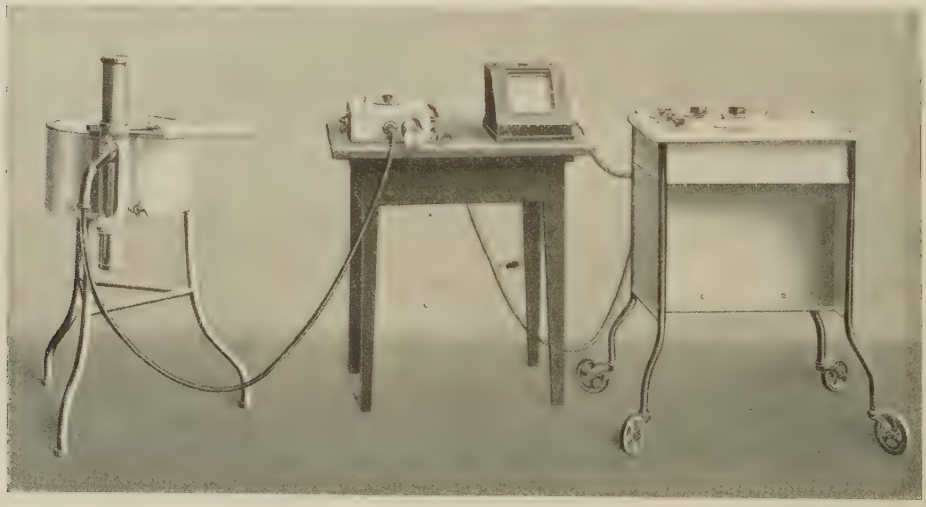


Abb. 80. Außenansicht des Siemens-Röntgen-Dosismessers.

kreis: Glühkathode, Anode, Galvanometer, Anodenbatterie, Glühdraht ein Strom fließen kann, den das Galvanometer anzeigt. Man kann also durch die Spannung des Gitters den Strom im Anodenkreise steuern, und zwar erhält man für eine ganz geringfügige Änderung der Gitterspannung eine erhebliche Änderung des Anodenstromes. Will man also den schwachen Ionisationsstrom der Fingerhutkammer verstärken, so kommt es darauf an, mit seiner Hilfe die Gitterspannung zu ändern. Nach dem Ohmschen Gesetze

$$V = J \cdot R \qquad (92)$$

ist der Spannungsunterschied V an den Enden eines Widerstandes R proportional dem Strom J, der diesen durchfließt (Abb. 79). Beim Siemens-Röntgendosismesser fließt der schwache Ionisationsstrom von der geerdeten Wandung der Fingerhutkammer über die Meßelektrode und von dieser über einen sehr großen Widerstand R zu der die Sättigungsspannung liefernden Batterie, deren anderer Pol gemeinsam mit dem Gehäuse, welches die ganze Anordnung zum Zwecke elektrostatischen Schutzes umschließt, geerdet ist. Trotz des geringen Ionisationsstromes J ist, vermöge des hohen Widerstandes R, die Spannung V ausreichend, um das Gitter zu steuern und so an dem Galvanometer M einen dem Ionisationsstrome entsprechenden Ausschlag hervorzurufen. Die gesamte Anordnung zeigt Abb. 80. Links ist das Wasserphantom zu sehen, in dem sich die der Höhe nach verstellbare Fingerhutkammer befindet. Durch ein Kabel mit geerdeter Umhüllung steht diese in Verbindung mit dem bleigepanzerten Kasten, welcher das Verstärkerrohr enthält, und von diesem führt ein weiteres geerdetes Kabel zum Schaltpult mit den Schaltern, den Batterien und dem Zeigergalvanometer.

Abb. 81.
Registriergerät zum Siemens-Röntgen-Dosismesser.

Dem Gerät ist ein radioaktives Präparat beigegeben, mit dessen Hilfe sich die Konstanz seines Widerstandes R prüfen läßt, von deren Unveränderlichkeit die Konstanz der Empfindlichkeit des Gerätes abhängt.

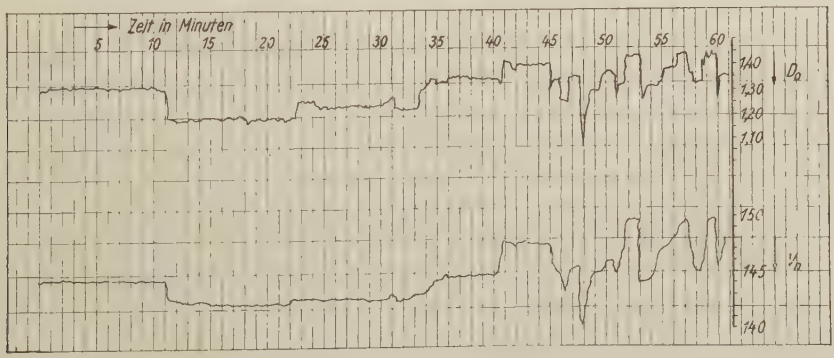


Abb. 82. Kurve des Registriergerätes zum Siemens-Röntgen-Dosismesser.

An den Meßtisch kann auch ein registrierendes Meßgerät (Abb. 81) angeschlossen werden, das auf einen ablaufenden Papierstreifen die Ionisation als Kurve aufzeichnet (Abb. 82).

c) Elektrometer mit parallelgeschaltetem hohen Widerstand. Jedes als Spannungsmesser geeichte Elektrometer vermag den Ionisationsstrom direkt anzuzeigen, wenn man ihm einen hinreichend hohen, bekannten Widerstand R parallel schaltet und für Aufrechterhaltung der Spannung sorgt (Abb. 83). Vermöge der Gleichung (92) ist dann die von dem Elektrometer angezeigte Spannung V dem Ionisationsstrom J proportional.

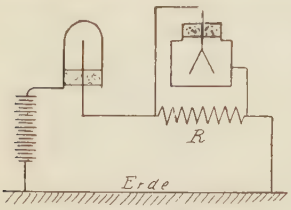


Abb. 83.
Elektrometer mit parallelgeschaltetem hochohmigen Widerstand zur direkten Strommessung.

6. Dosiszähler.

Alle bisher beschriebenen Dosimetergeräte erlauben nur die Ionisation in mehr oder minder großen Zeitabständen oder, wie das Registriergerät von Siemens, ununterbrochen zu messen. Um ein Maß für die dem Patienten während der Bestrahlung zugestrahlte Dosis zu erhalten, muß man bei letztgenanntem Gerät erst den Flächeninhalt der Dosiszeitkurve ermitteln; bei Messungen von Zeit zu Zeit muß man die Einzelmessungen in ein Koordinatenpapier eintragen, die Punkte durch eine Kurve verbinden und deren Flächeninhalt bestimmen (Abb. 84). Demgegenüber liefert ein Dosiszähler direkt eine dem Flächeninhalt der Kurve entsprechende Angabe, ähnlich wie ein nach Kubikzentimetern geteiltes offenes Gefäß diejenige Regenmenge zu zählen gestattet, die in einer bestimmten Zeit auf seine Öffnung niederging.

Abb. 84.
Zeit-Ionisationskurve.

a) Der Dosiszähler von Hammer bedient sich einer Ionisationskammer (Abb. 85), deren Außenelektrode dauernd auf ein oberhalb der Sättigungsspannung liegendes Potential geladen ist. Die Innenelektrode ist mit einer Platte P verbunden, gegenüber welcher ein geerdetes Blättchen B leicht beweglich angeordnet ist. Nimmt die Innenelektrode infolge einer Ionisation in der Kammer eine allmählich ansteigende Ladung an, so wird das Blättchen B immer mehr gegen die Platte P hingezogen, bis es den Kontakt C_1 berührt. Hierdurch wird ein elektrischer Automat A ausgelöst; dieser bewirkt 1. das Vorwärtsspringen eines Zählwerkzeigers um einen Skalenteil, 2. eine kurze Berührung von C_2 mit P, so daß dieses und die Innenelektrode geerdet werden. Demzufolge nimmt B wieder seine gestreckte Lage ein, und das Spiel wiederholt sich von neuem.

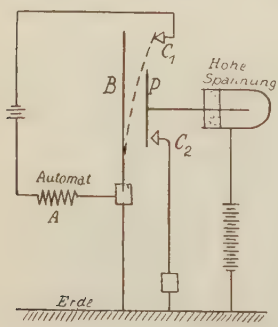


Abb. 85. Schema des Dosiszählers nach Hammer.

Mit dem Zählwerk läßt sich eine Schreibvorrichtung verbinden, die auf einem bewegten Papier eine Linie zeichnet, welche für jeden Zeigersprung des Zählwerks eine Zacke aufweist. Bei gleichmäßigem Laufe müssen die Zacken in gleichmäßigen Abständen liegen, unregelmäßige Zwischenräume verraten Fehler der Anordnung und des Bedienungspersonals sowie die Netzschwankungen; darüber hinaus stellen die Zacken einen urkundlichen Beleg für die applizierte Strahlenmenge dar.

Das Wesentliche dieses Instrumentes liegt in der Tatsache, daß Ionisierungskammer

und elektrometrische Anordnung zu einem kleinen beweglichen Apparat vereinigt sind, von dem aus nur gewöhnliche Drähte zu der Anzeigevorrichtung führen.

Dem Gerät ist ein kleines Radiumpräparat beigegeben, mit dessen Hilfe man die Konstanz seiner Angaben prüfen kann.

b) Der Dosiszähler nach Jaeger bedient sich, ebenso wie der Siemens-Röntgendosismesser, einer Verstärkerröhre. Ihr Gitter steht über ein Kabel mit der Innenelektrode einer Fingerhutkammer aus graphitiertem Horn in Verbindung und wird negativ aufgeladen. Hierdurch wird der Elektronenstrom nach der Anode zunächst gesperrt. Durch die Ionisation sinkt die negative Gitterladung, und nach einer Zeit, die um so kürzer ist, je intensiver die Röntgenstrahlen sind, kann der Elektronenstrom über die Anode abfließen und durch ein Relais einen Automaten in Tätigkeit setzen. Dieser bewirkt erstens Vorwärtsspringen des Zählwerkzeigers um einen Skalenteil und zweitens erneute negative Aufladung des Gitters, worauf sich das Spiel wiederholt. Die Außenansicht des Gerätes gibt Abb. 86.

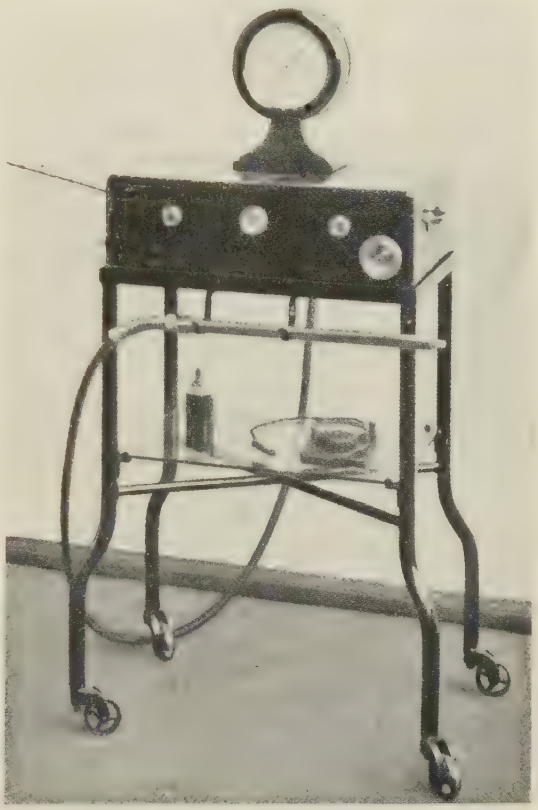


Abb. 86. Dosiszähler nach Jaeger.

Sechszehntes Kapitel.

Sättigungsprüfung und Spannungseichung.

Obgleich eine Angabe des Herstellers, unter welchen Bedingungen Sättigung besteht, bei der Wichtigkeit dieser Frage eigentlich als selbstverständlich erscheint, und obwohl eine Eichung des Elektrometers als Spannungsmesser die Verwendungsmöglichkeit jedes Gerätes, wie wir im XIII. Kapitel sahen, sehr erhöhen würde, ist doch meistens weder das eine noch das andere vorhanden. Aus diesen Gründen tritt an den Beobachter die Aufgabe heran, meistens die Sättigungsprüfung und häufig die Spannungseichung selbst vorzunehmen. Wir behandeln hier einige Methoden, die zum Ziele führen.

I. Sättigungsprüfung.

1. Röntgenstrahlintensität und Sättigungsspannung.

Die Prüfung auf Sättigung läßt sich am einfachsten bei denjenigen Geräten anstellen, welche das Anlegen einer beliebigen Spannung an die Ionisationskammer erlauben. Diese Möglichkeit ist beispielsweise gegeben beim Standardgerät (IX. Kapitel)

und beim Iontogalvanometer (XV. Kapitel). Die Schaltungsweise ist schematisch in Abb. 2 dargestellt: dort wird mit Hilfe des Galvanometers der Ionisationsstrom direkt gemessen.

Wir lassen zuerst eine schwache Röntgenintensität auf die Ionisationskammer fallen und erhöhen, von Null ausgehend, die Spannung V der Batterie A. Der bei jedem Werte gemessene Ionisationsstrom i zeigt Sättigung schon bei verhältnismäßig niedriger Spannung, wie Kurve 1 der Abb. 87 veranschaulicht. Steigern wir die Intensität der Röntgenstrahlung, so hat das Ergebnis einer neuen Beobachtungsreihe das Aussehen der Kurve 2, die erst für höhere Spannung Sättigung aufweist, und mit jeder weiteren Erhöhung der Intensität ergibt sich eine andere Sättigungskurve. Verbinden wir diejenigen Punkte der Sättigungskurven, in denen ihre Krümmung in eine Gerade übergeht, so erhalten wir den in Abb. 87 gestrichelten Kurvenzug. Dieser sagt aus:

Bei einem bestimmten Gerät ist die Höhe der Sättigungsspannung von der Größe der Ionisation abhängig. Die an einem bestimmten Gerät gemessene gestrichelte Kurve gibt an, welche Ionisationsströme äußerstenfalls gemessen werden dürfen, wenn an der Ionisationskammer eine gegebene Spannung V liegt.

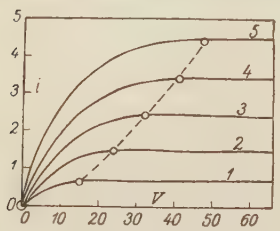


Abb. 87.
Sättigungskurvenschar.

Bei im Handel befindlichen Geräten, welche für direkte Anzeige des Ionisationsstromes eingerichtet sind und eine ganz bestimmte Spannung für die Ionisationskammer vorschreiben, wie z. B. der Siemens-Röntgen-Dosismesser, wird man im allgemeinen annehmen dürfen, daß die Sättigungsspannung so bemessen ist, daß für den ganzen Meßbereich des Gerätes Sättigung vorhanden ist. Anders liegen indessen die Dinge bei ablaufenden Dosimetergeräten. Besitzen diese nur zwei Skalenteile A und B, zwischen denen man die Ablaufzeit des Zeigers abzustoppen hat, so wird für schwache Ionisation, also für große Ablaufzeiten, zwar Sättigung stets vorhanden sein. Steigert man aber die Intensität, so wird die Ablaufzeit kleiner, und stets wird es für das bestimmte Gerät und für die vorgeschriebene Spannung an der Ionisationskammer einen Grenzwert der Ionisation geben, bei dem die Sättigung aufhört. Hier wird man sich durch einen Versuch zu überzeugen haben, welches die kürzeste Ablaufzeit zwischen A und B ist, die für Sättigung zulässig ist. Hat ein Gerät gar noch weitere Skalenteile C, D, E usf., so werden die bei Sättigung zulässigen kürzesten Ablaufzeiten zwischen AC, AD, AE usf. wiederum andere sein als die für AB, und jede muß im Einzelfalle bestimmt werden. Ist diese Sättigungsprüfung des betreffenden Gerätes erst einmal durchgeführt, so wird sie ein für allemal solange Gültigkeit besitzen, als man annehmen darf, daß das Gerät nicht durch äußere Einflüsse Änderungen seiner Empfindlichkeit erlitten hat.

2. Sättigungsprüfung für Ablaufzeit zwischen zwei Skalenteilen bei vorgeschriebener Kammerspannung.

Zu den Meßgeräten mit vorgeschriebener Kammerspannung gehören insbesondere alle diejenigen Meßgeräte, bei denen, z. B. durch eine Elektrisiermaschine, das Elektrometer vor Beginn der Messung auf einen bestimmten Skalenteil aufgeladen werden muß.

Die Sättigungsprüfung für die Ablaufzeit zwischen den Skalenteilen A und B läßt sich in folgender Weise durchführen. Man hält die Intensität und Qualität der Röntgenstrahlung sorgfältig konstant und mißt die Ablaufzeit zwischen A und B bei verschiedenen Brennfleckabständen. Arbeitet man mit hinreichend harter Strahlung, so daß die Luftabsorption nicht wirksam werden kann (vgl. VII. Kapitel, Abschnitt 4), so

ist die Intensität der Strahlung umgekehrt proportional dem Quadrate des Brennfleckabstands. Solange Sättigung vorhanden ist, verhalten sich daher die Ablaufzeiten wie die Quadrate der Brennfleckabstände. Ist hingegen keine Sättigung mehr vorhanden, entziehen sich vielmehr eine Anzahl Träger durch Rekombination und Diffusion der Messung, so erfolgt der Ablauf zu langsam. Dies wird nur bei hoher Intensität, also bei kleinen Brennfleckabständen zu erwarten sein.

Da es eine gewisse Schwierigkeit bietet, die Röntgenröhre mit der erforderlichen Konstanz zu betreiben, so wird man bei jedem einzelnen Brennfleckabstand mehrere Messungen vorzunehmen haben, wobei man bezüglich der Reihenfolge die Vorschriften im XIII. Kapitel zu beachten hat. In Tabelle 48 sind Ablaufzeiten t in Sekunden angegeben, welche Mittelwerte aus je zehn Einzelbeobachtungen darstellen sollen, die bei den verschiedenen Brennfleckabständen von a Meter ausgeführt sein mögen. Der Sättigungscharakter kommt durch Krümmung der Kurve ganz besonders deutlich dann zur Geltung, wenn man t durch a^2 dividiert. Solange Sättigung vorhanden ist, wird dann $t : a^2$ einen konstanten Wert besitzen; ist dagegen keine Sättigung mehr vorhanden, so wird t zu groß und das Verhältnis $t : a^2$ nimmt zu. Besonders anschaulich wird das Ergebnis durch die graphische Darstellung in Abb. 88. Als Abszissen sind die Ablaufzeiten t, als Ordinaten die Verhältnisse $t : a^2$ aufgetragen. Man erkennt, daß für das in unserem Beispiel angenommene Gerät Sättigung nur dann vorhanden ist, wenn die Ablaufzeit zwischen den Skalenteilen A und B länger ist als 30 Sekunden.

Tabelle 48. Sättigungsprüfung durch Messung der Ionisation in verschiedenen Brennfleckabständen.

Brennfleckabstand a Meter	a^2	Beob. Ablaufzeit t in Sek.	$\frac{t}{a^2}$
6	36	71	1,97
5	25	52	2,08
4	16	30,4	1,90
3	9	19,8	2,20
2	4	10,1	2,52
1	2	3,98	3,98

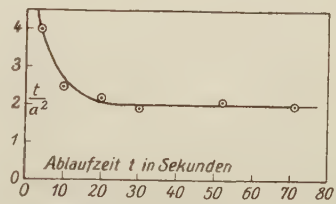


Abb. 88. Graphische Darstellung zur Sättigungsprüfung (zu Tabelle 48).

Für weitere Skalenteile C, D usf. wären besondere Versuchsreihen aufzustellen.

Will man Schwankungen der Röntgenstrahlintensität nach der Zweielektrometermethode ausschalten, so verspricht dies nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn das zweite zur Verfügung stehende Elektrometer als Spannungsmesser geeicht ist. Bei diesem Verfahren müssen die Röntgenstrahlen auf beide Geräte im Einzelfalle gleich lange einwirken; aber wegen des verschiedenen Brennfleckabstands des ersten Geräts, dessen Zeiger stets von A nach B laufen soll, wird die Bestrahlungszeit und deshalb auch der Ablauf des zweiten Elektrometers von Fall zu Fall verschieden sein. Nur wenn dieses als Spannungsmesser geeicht ist, kann man daher nach Gleichung (83) aus seinen Angaben auf die Intensität der Röntgenstrahlen schließen.

II. Spannungseichung.

1. Anlegen verschiedener, bekannter Spannungen an das Elektrometer.

Die Methode setzt einerseits voraus, daß dies technisch möglich ist: beim Standardgerät z. B. ist hierauf besonders Rücksicht genommen. Andererseits muß man über eine

Spannungsquelle verfügen, die ausreicht, um den Zeiger über die ganze Skala abzulenken und die Spannung muß sich nach irgendeinem Verfahren genau genug messen lassen. In manchen Fällen genügt die Spannung des Stadtnetzes. (Die Potentiometerschaltung siehe Abb. 67.) Nicht anwendbar ist diese Methode im allgemeinen für den, der nicht über besondere Mittel verfügt, bei solchen Dosimetergeräten, welche durch eine Reibungselektrisiermaschine aufgeladen werden; denn die von dieser erzeugte Spannung übersteigt die der Stadtnetze meist um das Mehrfache.

Tabelle 49. Eichung eines Elektrometers als Spannungsmesser durch Vergleich mit einem geeichten Gerät.

a) Skalenteile		b) Skalenteile	
Gerät		Gerät	
I	II	I	II
0	0	0	0
1	25	1,5	35
2	43	2,2	47
3	58	3,4	63
4	70	4,2	72
5	79	5,2	81
6	88	5,9	87
Sättigungsgrenze		Sättigungsgrenze	

Die im folgenden beschriebenen Methoden beruhen auf der Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen. Sie setzen daher Sättigung im ganzen untersuchten Spannungsbereich voraus, was sich stets erreichen läßt, wenn man mit hinreichend schwacher Intensität arbeitet.

2. Vergleich mit einem als Spannungsmesser geeichten, ablaufenden Ionisationsgerät nach der Zweielektrometer-Methode.

Man bringt vor Beginn der Beobachtung die Zeiger beider Elektrometer auf Null. Man läßt dann die Röntgenstrahlen solange einwirken, bis der Zeiger des geeichten Instruments I auf Skalenteil 1 kommt und liest die Zeigerstellung des zu eichenden Elektrometers II ab. Diese entspricht dann einer Spannung V in unbekannten Einheiten. Nach erneuter Einstellung beider Zeiger auf Null läßt man durch längere Belichtung Zeiger I bis Skalenteil 2 laufen. Die beim Elektrometer II abgelesene Zeigerstellung entspricht dann der doppelten Spannung 2V. So fährt man über einen möglichst großen Bereich der Skala fort und sorgt nur dafür, daß bei beiden Elektrometern stets Sättigung vorhanden ist. Als Beispiel einer solchen Meßreihe diene Tabelle 49a.

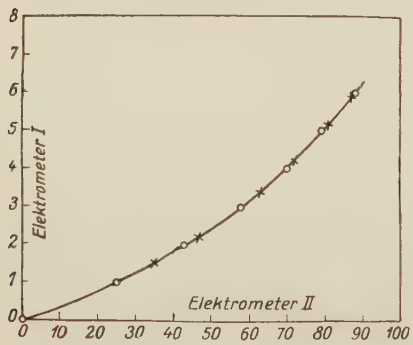


Abb. 89. Eichung eines Elektrometers als Spannungsmesser durch Vergleich mit einem geeichten Gerät.

Das Unterbrechen der Strahlung gerade in dem Augenblicke, wenn Zeiger I einen bestimmten Skalenteil erreicht hat, gelingt nicht immer. Es ist aber auch nicht nötig, so vorzugehen. Man kann die Bestrahlung ebensogut bei beliebiger Zeigerstellung des Elektrometers I unterbrechen, wenn man zwischen den Skalenteilen der beiden Elektrometer interpoliert (Tabelle 49b). Trägt man die Werte aus Tabelle 49a und 49b auf Koordinatenpapier auf, wie dies in Abb. 86 geschehen ist, so müssen sie alle auf derselben Kurve liegen.

Gleichung (83) lehrt, daß

$$V = J_0 \cdot \frac{t}{a^2} \cdot \text{Konst.} \qquad (93)$$

Der Spannungsunterschied V ist J_0 und t direkt und a^2 umgekehrt proportional. Hierauf lassen sich einige weitere Möglichkeiten der Spannungseichung aufbauen.

3. J_0 und a bleiben ungeändert, t wird variiert.

Hierzu läßt man dieselbe Röntgenstrahlung aus demselben Brennfleckabstand während verschiedener Zeiten t, die man abstoppt, auf das zu eichende Gerät einwirken. Da die Spannungsunterschiede V den Zeiten t proportional sind, so erhält man eine Spannungseichung in willkürlichen Einheiten. Es empfiehlt sich, zur Kontrolle auf Konstanz der Strahlung ab und zu die Ablaufzeit zwischen zwei bestimmten Skalenteilen A und B nachzuprüfen, welche konstant bleiben soll.

4. J_0 und t bleiben ungeändert, a wird variiert.

Man hält die Strahlung konstant und exponiert die Ionisationskammer aus verschiedenen Brennfleckabständen a während gleicher Zeiten t. Am besten bedient man sich der Zweielektrometer-Methode. Man läßt den Brennfleckabstand des zweiten Geräts unverändert und bestrahlt beide Geräte immer so lange, daß der Zeiger am zweiten Elektrometer von einem Skalenteil A nach einem Skalenteil B läuft. Das zweite Elektrometer braucht hierfür also nicht als Spannungsmesser geeicht zu sein.

5. t und a bleiben ungeändert, J_0 wird variiert.

Aus der Einstellung der Maschine auf die Intensität zu schließen, ist, wie wir im XI. Kapitel sahen, unzulässig. Wollte man diese Methode anwenden, so müßte man die Intensität in jedem Falle mit einem zweiten Gerät messen, dessen Spannungsempfindlichkeit bekannt sein müßte. Das käme aber auf das unter 2 geschilderte Verfahren hinaus, nur mit dem Unterschiede, daß sich mit der Intensität auch die Härte des Strahlengemischs in unkontrollierbarer Weise ändern kann. Da aber beide Geräte auf verschieden harte Strahlen verschieden empfindlich sein können, so birgt diese Methode eine verhängnisvolle Fehlerquelle. Sie wurde nur erwähnt, um vor ihr zu warnen.

Siebzehntes Kapitel.

Die Konstanz der Empfindlichkeit und ihre Prüfung.

Wir nehmen an, daß Justierung und Fehlerquellen, die wir im XIV. Kapitel besprochen haben, sorgsam berücksichtigt werden, und betrachten hier nur solche Einflüsse, die die Empfindlichkeit des Geräts verändern können, sich aber der Beobachtung entziehen.

Wir gehen aus von der im XII. Kapitel abgeleiteten Formel für die Intensität J_0 in 1 m Brennfleckabstand:

$$J_0 = \frac{a^2}{t} \cdot \left[\frac{s \cdot C}{q \cdot N \cdot \varepsilon}\right]. \tag{84}$$

Hierin sind a und t im Einzelfalle zu messen, während die in der eckigen Klammer stehenden Größen im allgemeinen eine für das benutzte Gerät charakteristische Konstante darstellen.

1. Der Brennfleckabstand a.

Am zweckmäßigsten wird man den Brennfleckabstand von der Glaswand der Röntgenröhre aus messen und den Brennfleckabstand von der Röhrenwand besonders

festlegen. Hierzu kann man sich leicht des folgenden behelfsmäßigen Geräts bedienen (Abb. 90). Man legt die Röntgenröhre R horizontal auf eine Spiegelglasplatte S, so daß die Strahlrichtung, in der später beobachtet werden soll, ebenfalls horizontal verläuft. Von beiden Seiten schiebt man sacht in Strahlrichtung an die Röntgenröhre zwei Holzklötze oder Kästen K heran, deren Seitenflächen rechtwinkelig aufeinander stehen müssen. Über diese Klötze legt man ein Zentimetermaß, auf welchem man eine Marke M, beispielsweise aus weißem Karton, gleiten läßt. Man visiert an dieser entlang den Brennfleck an und verschiebt sie solange, bis das Auge, die Marke, der Brennfleck und das Spiegelbild des Auges auf einer Linie liegen. Auf dem Zentimetermaß kann man alsdann den Abstand der Marke von dem einen Holzklotz und damit den Brennfleckabstand von dem entsprechenden Punkte der Röhrenglaswand ablesen.

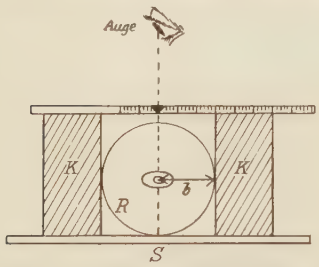


Abb. 90. Festlegung des Brennfleckabstandes von der Röntgenröhrenwand.

Im übrigen fällt ein Fehler bei der Messung des Brennfleckabstandes um so weniger ins Gewicht, je größer man den Brennfleckabstand bei der Beobachtung wählt.

Bei der Fingerhutkammer mißt man den Brennfleckabstand am zweckmäßigsten bis zur Kammermitte; denn nur dann schafft man für Fingerhutkammern verschiedener Größe vergleichbare Verhältnisse.

Bei der großen Ionisationskammer mißt man den Brennfleckabstand bis zur Hauptblende H, deren Loch vom Querschnitt q das Strahlenbündel begrenzt (Abb. 54), und zwar auch dann, wenn H einigen Abstand von der Kammer hat. Denn wenn man auch den Kammerabstand ändert, so fällt doch immer dieselbe Röntgenenergie durch die Kammer, da jene nur durch den Brennfleckabstand von H und den Querschnitt von q bestimmt wird: aus rein geometrischen Gründen ist allein der Querschnitt des Strahlenbündels im Innern der Kammer etwas verschieden, wenn man diese verschiebt und die Blende H festhält.

2. Die Ablaufzeit t.

Meßgenauigkeit und Fehlereinflüsse sowie Mittelwertbildung bei der Zeitmessung wurden bereits im XIII. Kapitel behandelt. Eine große Fehlerquelle kann indessen auch falscher Gang der Stoppuhr sein. Der Gang der Stoppuhr muß deshalb ab und zu einer Prüfung unterzogen werden.

a) Prüfung der Geschwindigkeit der Stoppuhr. Dies geschieht durch Vergleich während eines längeren Zeitraums mit einer gewöhnlichen Uhr mit Sekundenzeiger. Wenn eine solche Uhr am Tage um eine Minute falsch geht — eine gewöhnliche Taschenuhr geht im allgemeinen weitaus genauer —, so wird hierdurch ein Fehler von $\frac{1}{24 \times 60} = \frac{1}{1440} = 0{,}0007$, also von weniger als $1\,‰$ begangen.

Man versäume nicht zu prüfen, ob der Gang einer Stoppuhr, die frisch aufgezogen ist, anders ist, als wenn sie nahezu abgelaufen ist.

b) Prüfung auf Zeitverlust beim An- und Abstoppen der Uhr. Falls der Zeiger einer Stoppuhr beim Anstoppen nicht augenblicklich anspringt und beim Abstoppen nicht augenblicklich anhält, entstehen zwei Fehler, die sich wegen ihrer Kleinheit bei dem unter a angegebenen Verfahren im allgemeinen nicht bemerkbar machen. Auch bei der Messung fallen sie um so weniger ins Gewicht, je größer die Ablaufzeit ist. Genau bestimmen kann man die Größe dieser Fehler nur durch Vergleich der Stoppuhr mit

einem sehr genau gehenden Chronoskop, z. B. mit dem nach Hipp, über das die meisten psychologischen Institute verfügen.

c) Vergleich zweier Stoppuhren miteinander. Dies geschieht am einfachsten auf die Weise, daß man ihre Druckknöpfe ruckweise gegeneinander drückt und die Uhren dadurch gleichzeitig in Gang setzt und gleichzeitig wieder abstoppt. Vergleicht man eine größere Anzahl Uhren auf diese Weise von Zeit zu Zeit miteinander, so wird sich ein Fehler, der sich im Laufe der Zeit bei der einen herausgebildet hat, hierbei bemerkbar machen.

3. Der Lochquerschnitt q.

Die Ionisation ist proportional dem Querschnitt q des Loches in der Blende. Um diese vor Deformationen zu bewahren, die die Empfindlichkeit der Anordnung ändern würden, empfiehlt es sich, die Lochblende in einen schützenden Behälter zu montieren. Dieser soll auf dem Wege des ausgeblendeten Röntgenstrahlbündels aus einem auch die weichsten Röntgenstrahlen möglichst wenig schwächenden Material bestehen, welches nur dazu dient, das Loch vor Berührung zu schützen. Die Lochblende braucht diesem Behälter alsdann auch nicht für die Beobachtungen entnommen zu werden.

Will man die Sicherheit noch weiter steigern, so kann man alle Messungen auf eine Normalblende beziehen, welche nur dazu dient, die im täglichen Gebrauch befindlichen Blenden durch Vergleich mit ihr zu prüfen, im übrigen aber unbenutzt verwahrt wird.

Der Vergleich von Lochblenden geschieht am besten nach der Zweielektrometer-Methode. Hierbei setzt man der Reihe nach die zu vergleichenden Blenden vor die Ionisationskammer des einen Geräts, während das andere nur dazu dient, um Betriebsschwankungen auszuschalten.

Es empfiehlt sich, die Lochblenden bei harten und bei weichen Strahlen gesondert miteinander zu vergleichen.

Durch den Vergleich mit der Normalblende läßt sich die Änderung von q kontrollieren, und zwar unabhängig davon, ob sich andere Faktoren geändert haben, die in der eckigen Klammer der Gleichung (84) stehen und eine charakteristische Konstante des Geräts bedeuten.

4. Die Kapazität C.

Diese ist nur von der räumlichen Anordnung der Leiter abhängig. Daher ist bei allen Geräten, bei denen diese — ausgenommen das Zeigersystem — fest gelagert sind, nur durch Deformation (z. B. durch Stoß) eine Kapazitätsänderung zu erwarten.

Sind demgegenüber gewisse Metallteile der Anordnung beweglich, so ist eine Änderung der Kapazität denkbar. Bei biegsamen Kabeln wird dies im allgemeinen zwar nicht der Fall sein, solange die Meßelektrode gut axial im Mantel gehalten wird. Dagegen tritt bei Einfadenelektrometern durch Verstellung des Schneidenabstandes bisweilen eine merkliche Kapazitätsänderung ein.

5. Die Trägerzahl N.

Unter Voraussetzung der Reduktion auf gleiche Temperatur und gleichen Druck nach Gleichung (1) im I. Kapitel ist die Zahl N von Trägern eines Vorzeichens, welche ein bestimmtes Röntgenstrahlengemisch pro Sekunde in der Kammer auslöst, nur vom Material, der Gestalt und der Abmessung der Kammer abhängig. Eine Änderung von N wäre daher nur möglich

a) Durch Materialänderung, z. B. durch Oxydation. Dies wäre denkbar durch Eindringen unreinen Wassers in eine Fingerhutkammer; freilich ist zu erwarten, daß sich

dies gerade bei der Fingerhutkammer durch eine Schädigung der Isolation bemerkbar macht.

b) Durch Änderung von Gestalt und Abmessung. Je kleiner eine Kammer ist, desto stärker muß eine Änderung von Gestalt und Abmessung die Trägerzahl N beeinflussen. Nach den Messungen von Fricke und Glasser (VI. Kapitel) ist sie für Fingerhutkammern aus Kohle und Aluminium deren Volumen proportional. Die Fingerhutkammer ist bei ihrer Beweglichkeit besonders leicht Beschädigungen ausgesetzt. Hierauf sollte bei ihrer Konstruktion ganz besonders Rücksicht genommen werden. Solange sie nicht gebraucht wird, soll sie durch eine Hülle geschützt werden.

6. Die Spannungsempfindlichkeit s.

Nach dem XII. Kapitel ist s die Spannungsdifferenz, die dem Abstande zweier Skalenteile A und B entspricht. Es darf im allgemeinen nicht vorausgesetzt werden, daß diese unbedingt zeitlich konstant ist. Die verschiedensten Einflüsse können sich hier geltend machen. Die Temperatur spielt besonders bei Fadenelektrometern eine Rolle. Sie beeinflußt die Ausdehnung des Fadens und damit seine mechanische Spannung, folglich auch die elektrische Spannungsempfindlichkeit des Geräts. Bei Geräten mit drehbaren Zeigern können mechanische Änderungen, z. B. Verschiebung derjenigen Teile infolge von Stoß eintreten, die durch elektrostatische Anziehung oder Abstoßung die Bewegung des Zeigers bewirken. Bei transportablen Geräten muß man immer mit einer Änderung der Spannungsempfindlichkeit rechnen. Ihre Nachprüfung kommt einer neuen Eichung gleich, wie wir sie im XVI. Kapitel besprochen haben.

7. Die elektrische Elementarladung ε.

Diese ist, wie wir im XII. Kapitel sahen, eine universelle Konstante und daher keinen Einflüssen unterworfen.

8. Die Änderung der Empfindlichkeit bei Änderung eines oder mehrerer Faktoren.

Die Änderung der Empfindlichkeit kann nur durch Änderung der Faktoren s, C, q und N eintreten.

Ist einer der im Zähler stehenden Faktoren s oder C unbemerkt größer geworden, so wird man zwischen den Skalenteilen A und B bei gleicher Intensität längere Ablaufzeit t messen: die Beobachtung täuscht also zu geringe Intensität J_0 vor.

Ist dagegen einer der im Nenner stehenden Faktoren q oder N unbemerkt größer geworden, so wird man zwischen den Skalenteilen A und B kürzere Ablaufzeit messen: die Beobachtung täuscht also zu große Intensität J_0 vor.

Die Faktoren im Zähler und Nenner wirken also im entgegengesetztem Sinne.

Es ist durchaus denkbar, daß sich zwei der vier Faktoren gleichzeitig, und zwar so geändert haben, daß sich ihre Änderung nahezu kompensiert. Von den vier Faktoren s, C, q und N ändert sich nur N mit der Härte der Röntgenstrahlen. Haben sich also zwei der Faktoren s, C und q geändert, so wird eine einmal vorhandene Kompensation für alle Wellenlängen eintreten. Ist auch N an der Änderung beteiligt, so ist es möglich, daß Kompensation für ein Strahlengemisch eintritt, für ein anderes nicht.

Eingehende Aufklärung kann hier nur die Nachprüfung jedes einzelnen der vier Faktoren bringen. Das Standardgerät ist so eingerichtet, daß es dieses erlaubt. Die handelsüblichen Instrumente lassen das aber im allgemeinen nicht zu, und man wird

sich bei diesen meist mit der Prüfung begnügen müssen, ob sich der Zahlenwert, den die eckige Klammer darstellt, geändert hat oder nicht. Hierfür stehen zwei Wege offen: Vergleich mit einem radioaktiven Präparat und Vergleich mit einem anderen Gerät, dem man konstante Empfindlichkeit zutraut.

9. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit durch ein radioaktives Präparat.

Wir kennen drei Arten radioaktiver Strahlungen: die α-Strahlen, die β-Strahlen und die γ-Strahlen. Die α-Strahlen sind doppelt positiv geladene Heliumatome; die β-Strahlen sind Elektronen oder Kathodenstrahlteilchen; die γ-Strahlen sind sehr harte Röntgenstrahlen. Die ionisierenden Wirkungen der α-, β- und γ-Strahlen verhalten sich zu einander etwa wie 10000 : 100 : 1.

a) γ-Strahlenpräparat. Als solche dienen meistens Radiumpräparate. Die ionisierende Wirkung wird nicht vom Radium selbst hervorgerufen, sondern sie geht von seinen Zerfallsprodukten aus. Das Radium scheidet ein radioktives Gas, die sog. Emanation, aus, welche sich ihrerseits wiederum in die Produkte Radium A, B und C verwandelt. Die ionisierenden γ-Strahlen kommen vom Radium B und C.

Obgleich der größte Teil der Radiumemanation im Radiumsalze selbst okkludiert bleibt, entweicht doch stets ein geringer Bruchteil derselben. Um dieses zu verhüten, muß das Präparat unbedingt luftdicht in ein Glasröhrchen eingeschlossen sein. Ist das nicht der Fall, so schlagen sich die Zerfallsprodukte der Emanation an den Wänden des Zimmers nieder. Während man die entwichene Emanation in der Regel durch Lüftung vertreiben kann, sind die Niederschläge ihrer Produkte schwer zu entfernen und können wegen ihrer ionisierenden Wirkung dazu führen, daß genaue Messungen in dem verseuchten Raum überhaupt nicht mehr durchführbar sind.

Radium im Radiumsalz ist nach Angabe Rutherfords etwa einen Monat nach seiner Herstellung im Gleichgewicht mit seinen Produkten. Dann sendet es γ-Strahlen aus, die großes Durchdringungsvermögen besitzen und deren Intensität proportional ist der Menge des vorhandenen Radiums. Es ist wichtig, daß das Glasröhrchen, welches das Radiumpräparat enthält, einen Monat vor Beginn der Beobachtungen abgeschmolzen wurde. Nur auf diese Weise wird ein möglicher Fehler durch Entweichen von Emanation und eine etwa folgende Abnahme der γ-Strahlen vermieden.

Außer der γ-Strahlung geht vom Radium B und C auch eine ziemlich intensive β-Strahlung aus, die infolge ihres korpuskularen Charakters aber viel stärker absorbiert wird als jene. Unterdrückt man diese β-Strahlung nicht, so kann sie zu erheblichen Versuchsfehlern führen: schon wegen verschiedener Dicke des Glaskölbchens, in welches das Präparat eingeschmolzen ist, kann die β-Strahlung in verschiedenen Richtungen verschieden sein. So fand der Verfasser für die Ionisation durch ein solches Präparat:

vor Drehung des Präparats 7,07
nach Drehung um 180° 9,23,

was einem Unterschied von rund 30% in der Ionisation entspricht. Es ist klar, daß diese β-Strahlung bei einer Fingerhutkammer, die an verschiedenen Stellen verschiedene Wandstärke besitzt, zu sehr erheblichen Ionisationsunterschieden führen kann.

Durch Filterung mit Blei läßt sich diese β-Strahlung weitgehend unterdrücken. So ergab sich

mit 1 mm Bleifilter vor Drehung des Präparats 3,205
„ 1 mm „ nach Drehung um 180° 3,215,

also nur noch ein Unterschied von 0,3 %. Bei stärkerer Filterung nimmt die Ionisation weiter ab:

ohne Filter 7,10
mit 1 mm Blei 3,65
„ 2 mm „ 2,82.

Ein γ-Strahlpräparat, das zur Prüfung auf konstante Empfindlichkeit dienen soll, wird daher mindestens mit 1 mm Blei zu filtern sein. Da ein solches Bleifilter selbst leicht Beschädigungen ausgesetzt ist, so wird man es entweder durch seine Anordnung oder durch Umhüllung mit einem widerstandsfähigem Material wie z. B. Aluminium oder Kupfer von etwa $^1/_2$ mm schützen.

Da die Intensität der γ-Strahlung umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstands vom Präparat ist, so wird, besonders bei großer Nähe der Ionisationskammer, eine geringe Verschiebung des Präparats bereits einen beträchtlichen Unterschied in der Ionisation verursachen. Als Beispiel hierfür diene die Tabelle 50. Die Intensität der Strahlung in 1 cm Abstand vom Präparat ist in dieser willkürlich gleich 100 gesetzt. Die zweite Spalte gibt an, wie groß die Intensität alsdann bei anderen Abständen des Präparats ist, und die Spalte 3 zeigt, um wieviel Prozent sich diese in Spalte 2 aufgeführte Intensität ändert, wenn man das Präparat um 1 mm verschiebt. Dieser Intensitätsunterschied beträgt selbst in 10 cm Entfernung vom Präparat noch 2 %.

Tabelle 50. Intensitätsunterschied bei fehlerhaftem Abstand eines γ-Strahlpräparats.

Abstand vom Präparat in cm	Intensität der γ-Strahlung J	Intensitätsunterschied bei Abstandsfehler von 1 mm in % von J
1	100	20
2	25	10
3	11,1	6,7
4	6,25	5,0
5	4,0	4,0
6	2,78	3,33
7	2,04	2,86
8	1,56	2,51
9	1,24	2,21
10	1,00	2,00
1	2	3

Dieser Umstand fordert, daß das Präparat in seinem Glaskölbchen gut fixiert sein muß. So fand der Verfasser für ein Präparat, das in ein Glaskölbchen von etwa 1 cm Durchmesser eingeschmolzen, aber nicht fixiert war und sich in 8 cm Abstand von der Ionisationskammer befand, bei 1 mm Bleifilterung folgende Werte für die Ionisation:

Pulver nach der Ionisationskammer zugeschüttelt 3,31,
Pulver von der Ionisationskammer weggeschüttelt 3,06,

also einen Unterschied von 7,5 %.

Da der Abstand des Präparats von der Kammer von so großem Einfluß auf die Ionisation ist, so muß man unbedingt fordern, daß die Hülse, die das Präparat trägt, so konstruiert ist, daß bei Überschieben derselben über die Kammer stets genau die gleiche wechselseitige Lage von Präparat und Kammer gewährleistet wird. Dies geschieht am besten auf die in Abb. 91 dargestellte Weise. Die Hülse, welche straff über den Kammerhalter paßt, besitzt einen Wulst W, der sich gegen jene anlegt. Um sicher zu sein, daß die Hülse auch ganz über den Kammerhalter geschoben ist, ist eine Marke M angebracht.

Das Präparat kann sich sowohl in Verlängerung der Kammerachse als rechtwinklig zu dieser befinden (Abb. 92). Bei der letzten Ausführung kann bei nicht völlig achsensymmetrischem Bau der Kammer die Ionisation leicht von einer Drehung des Präparats

um die Kammerachse abhängig sein. Der axialen Anordnung ist daher der Vorzug zu geben.

Zusammenfassend müssen wir folgende Forderungen an ein γ-Strahlenpräparat stellen:

Es muß einen Monat vor der Benutzung in einen Glaskolben eingeschmolzen worden sein;

es muß im Glaskolben fixiert sein;

der Glaskolben muß im Halter (Hülse) fixiert sein;

das Präparat muß mindestens mit 1 mm Blei gefiltert sein;

das Bleifilter muß vor Beschädigungen geschützt sein;

die Lage des Präparats zur Kammer muß eindeutig fixiert sein;

das Präparat darf wegen des Abstandsfehlers der Kammer nicht zu nahe kommen.

Die Verwendung eines γ-Strahlenpräparats hat folgende Nachteile:

Wegen der Durchdringungsfähigkeit der γ-Strahlung findet Ionisation aller Lufträume in der Umgebung der Kammer statt, und zwar auch derjenigen, die vor der Wirkung der Röntgenstrahlen durch Blei hinreichend geschützt sind. Aus diesem Grunde

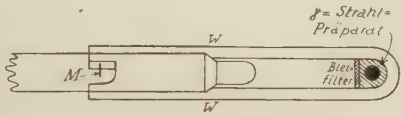


Abb. 91.
Axiale Anordnung.

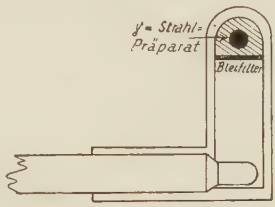


Abb. 92.
Rechtwinklige Anordnung.

Abb. 91 und 92. Gamma-Strahlpräparat mit Hülse, Bleifilter und Fingerhutkammer.

kann man mit einem Präparat auch nur ein und dasselbe Gerät auf Konstanz der Empfindlichkeit prüfen, nicht aber verschiedene Geräte durch dasselbe Präparat miteinander vergleichen, da die Trägerbildung durch Röntgenstrahlen nur in der Kammer, durch γ-Strahlen aber auch teilweise im Anschlußkabel stattfinden kann.

Aus diesem Grunde muß man bei Änderung der Ionisation durch γ-Strahlen sehr vorsichtig mit der Folgerung sein, es müsse sich auch die Empfindlichkeit des Geräts gegen Röntgenstrahlen geändert haben. Möglicherweise ist allein eine Veränderung benachbarter Lufträume die Ursache.

Auch zur Einzelprüfung verschiedener Geräte kann dasselbe Präparat nur dann dienen, wenn sein Halter genau über die Kammerhalter der verschiedenen Geräte paßt, was im allgemeinen nicht der Fall ist.

Aus diesem Grunde und wegen des für genaue Messungen nötigen, nicht zu kleinen Präparatabstandes ist das Arbeiten mit einem γ-Strahlenpräparat verhältnismäßig kostspielig.

b) α-Strahlenpräparat. Die bequemste Substanz ist hierfür nach Rutherford schwarzes Uranoxyd, das für alle praktischen Zwecke als eine unveränderliche Quelle der Strahlung angesehen werden kann. Um das Uranoxyd zu fixieren, zerreibt man es zu feinem Pulver und mischt es darauf mit einer organischen Flüssigkeit, z. B. Chloroform oder Äther. Nach Aufstreichen oder Zerstäuben auf eine Metallplatte verdampft die Flüssigkeit und hinterläßt eine dünne Schicht von Uranoxyd, die fest auf der Platte haftet. Die von dieser ausgehende Ionisation ist praktisch der α-Strahlung zuzuschreiben.

Der große Vorzug eines Uranoxydpräparats ist seine Billigkeit. Demgegenüber ist es ein Nachteil, daß man im allgemeinen bei den zur Verfügung stehenden Spannungen keine vollkommene Sättigung erreicht. Abb. 93 zeigt 2 Sättigungskurven von Rutherford. Das Uranoxyd war gleichförmig auf eine Platte aufgetragen, und die andere befand sich einmal in 5 mm, einmal in 25 mm Abstand über jener. Die Sättigung wird um so früher erreicht, je näher die Platten einander stehen; will man aber schon mit 100 Volt Sättigung erhalten, so darf der Plattenabstand äußerstenfalls 5 mm betragen. Behnken untersuchte ferner die Abhängigkeit der Ionisation durch ein Uranoxydpräparat vom Luftdruck für ein Intervall von etwa 720—810 mm Quecksilberdruck bei 18° C und fand 1,4 % Änderung der Ionisation. Seine Ergebnisse zeigt Abb. 94. Eine weitere Gefahr bei Verwendung eines α-Strahlenpräparats besteht darin, daß sich durch Stoß einzelne Teile der Schicht von ihrer Unterlage ablösen können, wodurch sich die Ionisation des Präparats ändert. Die Oberfläche eines α-Strahlenpräparats muß mindestens 50 qcm groß sein; denn bei zu kleiner Oberfläche kommt die Ionisation durch jedes einzelne α-Strahlteilchen zur Geltung, da die ionisierende Wirkung eines α-Strahlteilchens viel größer ist als die eines radioaktiven β-Strahlteilchens oder gar eines viel langsameren, von Röntgenstrahlen ausgelösten Primärelektrons. Bei einem zu kleinen α-Strahlenpräparat springt daher der Elektrometerzeiger ruckweise vorwärts, oder er wandert ungleichmäßig schnell. Bei einem großen α-Präparat ergibt sich demgegenüber ein guter statistischer Mittelwert der Ionisation, und der Zeiger wandert gleichmäßig und immer gleich schnell. Da die Emanation ein Produkt der Uranreihe ist, so ist wegen der unter a) besprochenen Wirkung derselben Vorsicht am Platze.

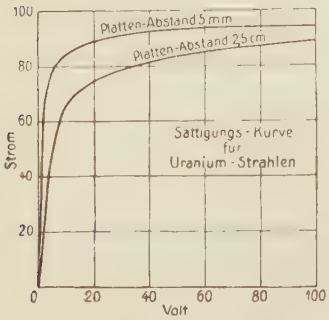


Abb. 93. Sättigungskurven durch Alphastrahler (Uranoxyd) bei 5 und 25 mm Plattenabstand nach Rutherford (aus Marx' Handbuch der Radiologie, Bd. II).

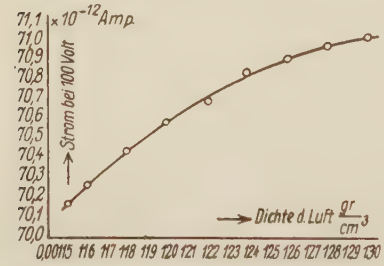


Abb. 94. Ionisation durch Uranoxyd in Abhängigkeit vom Luftdruck nach Behnken.

10. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit durch Vergleich mit einem anderen Gerät.

Ein solcher Vergleich verspricht nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn man von dem Vergleichsgerät mit Bestimmtheit annehmen darf, daß seine Empfindlichkeit konstant geblieben ist. Das ist aber äußerstenfalls dann zu erwarten, wenn es keinen Erschütterungen ausgesetzt war, d. h. wenn es unbeweglich fest montiert war. Der Einfluß der Temperatur auf die Spannungsempfindlichkeit des Vergleichsgeräts muß jedenfalls bekannt sein.

11. Das Eichstandgerät.

Ein Gerät, das allen Anforderungen genügen dürfte, ist das vom Verfasser in Vorschlag gebrachte Eichstandgerät. Sein Prinzip ist folgendes:

Eine Ionisationskammer, ein Elektrometer und ein radioaktives Präparat sind starr miteinander verbunden und mit ausreichendem Strahlenschutz gegen Röntgenstrahlen (Bleihülle) versehen. Das ganze Gerät ist unverrückbar fest angebracht, am besten auf

eine eiserne Wandkonsole geschraubt und durch festen Abschluß nach außen hin gegen Beschädigung durch Eingriffe geschützt. Ohne räumliche Verschiebung des radioaktiven Präparats läßt sich seine Wirkung auf die Anordnung ausschalten. Dies kann bei einem γ-Strahlenpräparat durch Einschieben einer hinreichend dicken Bleiplatte geschehen (Abb. 95), bei einem α-Strahlpräparat, indem man dieses in einer zweiten Kammer

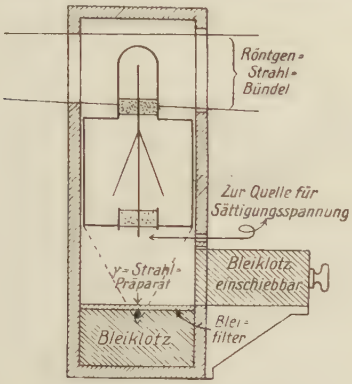


Abb. 95. Eichstandgerät mit γ-Strahlpräparat nach Küstner.

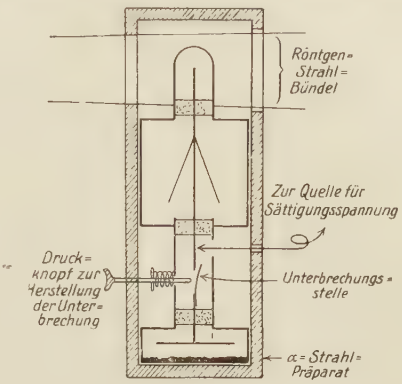


Abb. 96. Eichstandgerät mit α-Strahlpräparat nach Küstner.

ionisierend wirken läßt, deren Leitung zur übrigen Anordnung mechanisch unterbrochen werden kann (Abb. 96).

Bei solider Ausführung und der oben besprochenen Befestigungsart darf vorausgesetzt werden, daß sich von den 4 Faktoren s, C, q und N, die die Empfindlichkeit

Tabelle 51. Ablaufzeit des Eichstandgeräts durch das radioaktive Präparat: 10 Sekunden.

Strahlengemisch	Eichstandgerät E Sekunden	Dosimeter D Sekunden	$\frac{J_D}{J_E}$	$\frac{J_D}{10\,J_E}$
I	7	5	1,40	0,140
II	8	4	2,00	0,200
III	5	3	1,67	0,167
IV	9	6	1,50	0,150
1	2	3	4	5

des Eichstandgeräts bestimmen, C, q und N nicht ändern können, und daß deshalb auch Änderungen seiner Empfindlichkeit auf Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, die allein durch N entstehen könnten, nicht auftreten werden. Wohl wäre aber eine zeitliche Änderung seiner Spannungsempfindlichkeit s denkbar. Diese schaltet man dadurch aus, daß man mit der Stoppuhr die Ablaufzeit zwischen den Skalenteilen A und B des Eichstandgerätes bestimmt, die das radioaktive Präparat bewirkt, und anschließend diejenige, die nach Abschalten des radioaktiven Präparats ein bestimmtes Röntgenstrahlgemisch hervorruft. Alsdann vergleicht man dasjenige Gerät, das man auf die Konstanz seiner Empfindlichkeit prüfen will, bei diesem Strahlengemisch mit dem Eichstandgerät, was am besten nach der Zweielektrometer-Methode geschieht. Dabei läßt man das Eichstandgerät immer zwischen den Skalenteilen A und B ablaufen. Den Vergleich beider Geräte führt man in derselben Weise für verschiedene Röntgenstrahlen-

gemische durch. Die Spannungsempfindlichkeit des Eichstandgeräts hebt sich hierbei heraus.

Ein Beispiel erläutere die Ausführung. Durch Mittelwertbildung ist die Ablaufzeit des Eichstandgeräts durch das radioaktive Präparat zwischen A und B zu 10 Sekunden bestimmt. Die Tabelle 51 gibt an, wieviel Sekunden die Ablaufzeit des Eichstandgeräts zwischen A und B und des zu prüfenden Dosimeters zwischen den Skalenteilen C und D betrug, wenn beide gleichzeitig mit demselben Strahlengemisch, der Reihe nach aber mit den verschiedenen Strahlengemischen I—IV bestrahlt wurden. Da die Ionisation der Ablaufzeit umgekehrt proportional ist, so geben die Zahlen der Spalte 4 die Ionisation am Dosimetergerät, bezogen auf die am Eichstandgerät. Zur Ausschaltung der Spannungsempfindlichkeit des Eichstandgeräts hat man diese Zahlenwerte noch durch 10 zu dividieren.

Es möge sich nun aus irgendeinem Grunde die Spannungsempfindlichkeit des Eichstandgerätes geändert haben, so daß an einem anderen Tage seine Ablaufzeit durch das radioaktive Präparat zwischen A und B 20 Sekunden beträgt. Wenn sich die Empfindlichkeit des zu prüfenden Geräts in dieser Zeit nicht geändert hat, so müßten sich trotz-

Tabelle 52. Ablaufzeit des Eichstandgeräts durch das radioaktive Präparat: 20 Sekunden.

Strahlengemisch	Eichstandgerät E Sekunden	Dosimeter D Sekunden	$\frac{J_D}{J_E}$	$\frac{J_D}{20\ J_E}$
I	14	5	2,80	0,140
II	16	4	4,00	0,200
III	10	3	3,34	0,167
IV	18	6	3,00	0,150
1	2	3	4	5

dem in Spalte 5 dieselben Zahlenwerte ergeben. Die Ablaufzeit des Eichstandgeräts ist jetzt doppelt so groß wie im ersten Falle, und zwar ebenfalls für Röntgenstrahlen. Die beiden Geräte liefern also nunmehr die Ablaufzeiten der Tabelle 52. Dividiert man die Werte der Spalte 4 durch 20, so zeigen sich in der Tat dieselben Werte wie in Spalte 5 der Tabelle 51, was bedeutet, daß sich das zu prüfende Gerät, unserer Voraussetzung entsprechend, in der Tat nicht geändert hat.

Die Vorzüge dieser Methode sind die folgenden:

Unkontrollierbare Änderungen von C, q und N des Eichstandgeräts sind wegen seiner festen Aufstellung nicht zu erwarten;

unkontrollierbare Änderungen der Spannungsempfindlichkeit des Eichstandgeräts heben sich durch die Methode heraus;

es können nicht allein die Ionisationsmeßgeräte der verschiedensten Konstruktionen, sondern auch Dosimeter, die nach anderen Prinzipien arbeiten, miteinander verglichen werden;

da hierfür nur ein Eichstandgerät, also auch nur ein radioaktives Präparat erforderlich ist, und da das Elektrometer primitivste Form besitzen kann, so ist das Verfahren wohlfeil;

der Vergleich verschiedener Geräte kann bei beliebigen Strahlengemischen durchgeführt werden;

wählt man den Abstand der Röntgenröhre vom Eichstandgerät so, daß die Ablaufzeit desselben durch die Röntgenstrahlung gleich derjenigen durch das radioaktive

Präparat wird, so heben sich auch noch etwa vorhandene Zeitmeßfehler heraus, die ihre Ursache in fehlerhaftem Gang der Stoppuhr haben, vorausgesetzt, daß der Fehler ein systematischer ist, d. h. daß er sich bei jeder Einzelmessung gleich bleibt;

die Eichung des Eichstandgeräts nach „R" unterliegt keinerlei Schwierigkeiten, so daß jeder, der über ein Eichstandgerät verfügt, jederzeit in der Lage ist, die Eichung seiner Dosimetergeräte nach „R", welches ihr Prinzip auch sei, mit Hilfe des Eichstandgeräts nachzuprüfen.

Achtzehntes Kapitel.

Die Härtemessung der Röntgenstrahlen.

In neuerer Zeit hat sich die Härtemessung der Röntgenstrahlen mit Hilfe des Spektralapparats auch in die medizinische Praxis mehr und mehr Eintritt zu verschaffen gesucht. Für den Rahmen dieser Abhandlung käme höchstens die Untersuchung spektral zerlegter Röntgenstrahlung nach der Ionisationsmethode in Frage. Bei der außerordentlich geringen Intensität spektral zerlegten Röntgenlichtes stellt seine Ionisationsmessung außerordentliche Anforderungen an die Meßgenauigkeit und ist daher zunächst nur im physikalischen Laboratorium anwendbar (vgl. IX. und X. Kapitel). Aus diesem Grunde dürfen wir hier von einer Behandlung der Spektralionisationsmessung absehen.

1. Das Röntgensche Absorptionsgesetz.

Schon bei seinen ersten grundlegenden Untersuchungen über den Durchgang von Röntgenstrahlen durch Glas und Stanniol gelangte Röntgen zu folgendem Ergebnis: „Denkt man sich die untersuchten Körper in gleichdicke, zu den parallelen Strahlen senkrechte Schichten zerlegt, so ist jede dieser Schichten für die in sie eindringenden Strahlen durchlässiger als die vorhergehende; oder mit anderen Worten: die spezifische Durchlässigkeit eines Körpers ist um so größer, je dicker der betreffende Körper ist." Dieses Gesetz wird das Röntgensche Absorptionsgesetz genannt; da wir heute wissen, daß wir beim Durchgang von Röntgenstrahlen durch Materie deren Schwächung messen, müßten wir es eigentlich als „Röntgensches Schwächungsgesetz" bezeichnen.

Abb. 97. Kontinuierliches Spektrum in Abhängigkeit von der Filterdicke (schematisch).

Die Untersuchungen über das kontinuierliche Röntgenspektrum (X. Kapitel) haben die Gewißheit gebracht, daß die von unseren Röntgenröhren ausgehende Strahlung nicht homogen ist, sondern sich aus einer großen Anzahl Komponenten verschiedener Wellenlängen zusammensetzt. Auch haben die Untersuchungen über die Schwächung der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge gelehrt, daß in einem und demselben Material die Schwächung um so größer ist, je langwelliger die Strahlung ist. Diese beiden Tatsachen erklären uns zwanglos das Röntgensche Schwächungsgesetz. In Abb. 97 ist schematisch dargestellt, in welcher Weise das kontinuierliche Spektrum geschwächt wird, wenn man der Reihe nach mehr und mehr Filter desselben Materials in den Weg der Röntgenstrahlen bringt: stets erfolgt die Schwächung am meisten auf Kosten der weichen Komponenten. Hieraus ergibt sich, daß mit zunehmender Filterdicke die mittlere Wellenlänge einer inhomogenen Strahlung abnimmt, ihre mittlere Härte zunimmt: die Strahlung wird durchdringungsfähiger, das Filter wird durchlässiger für sie.

2. Der Einfluß des Ionisationsgeräts auf das Ergebnis der Härtemessung.

Filtern wir ein gegebenes Strahlengemisch der Reihe nach mit mehr und mehr Filtern desselben Materials und derselben Dicke, und messen wir in jedem Einzelfalle die Ionisation mit einer Kammer, die, entsprechend den Forderungen Holthusens, die Trägerbildung voll ausnutzt, also beispielsweise mit einer Druckluftkammer, so werden wir bei dem gegebenen Strahlengemisch für jede Anzahl von Filtern einen bestimmten Wert der Ionisation finden. Messen wir unter gleichen Bedingungen mit einer anderen Ionisationskammer, welche, im Vergleich zu der eben genannten, empfindlicher auf weiche Strahlen ist als auf harte, so wird sich jedesmal bei Hinzufügen eines Filters eine stärkere Ionisationsabnahme ergeben als im ersten Falle; d. h. die Schwächung durch jedes Filter wird größer, das Strahlengemisch daher im Mittel als schwächungsfähiger oder weicher erscheinen. Umgekehrt täuscht uns eine Ionisationskammer, welche relativ empfindlicher auf harte Strahlung ist als auf weiche, jedesmal bei Zuschalten eines Filters eine geringere Ionisationsabnahme vor als im ersten Falle, und das Strahlungsgemisch erscheint uns im Mittel härter.

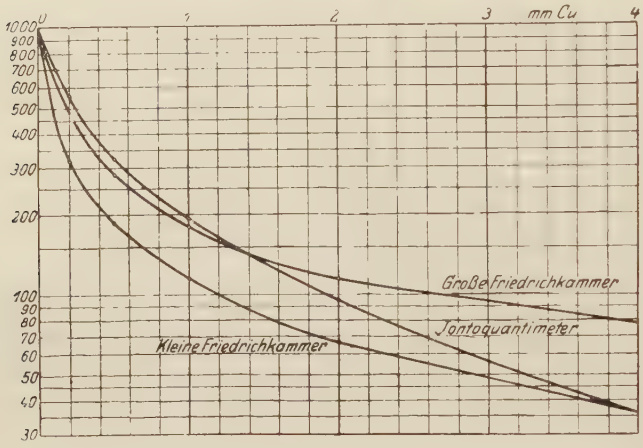


Abb. 98.
Absorptionskurven in Kupfer, aufgenommen mit verschiedenen Fingerhutkammern von Jaeger und Halberstaedter.

Wollen wir also die mittlere Härte eines Strahlengemischs mit Hilfe der Schwächung bestimmen, die es durch Filter eines bestimmten Materials und bestimmter Dicke erleidet, so kann das Ergebnis nur dann eindeutig sein, wenn man entweder eine ganz bestimmte, definierte Ionisationskammer benutzt, oder wenn man die benutzte Ionisationskammer bezüglich ihrer Wellenlängenempfindlichkeit durch Vergleich mit einer bestimmten Ionisationskammer geeicht hat und die Meßergebnisse auf jene umrechnet. Am zweckmäßigsten wählt man hierfür die Druckluftkammer.

Daß schon im Rahmen der Ionisationsmethode Unterschiede im Ergebnis der Härtemessung durch Filterung auftreten werden, ist nach den Untersuchungen von Friedrich und Glasser (VI. Kapitel, Abb. 20) durchaus zu erwarten.

Den starken Einfluß verschiedenartiger Fingerhutkammern auf die Absorptionskurven desselben Strahlengemisches in Kupfer konnten Jaeger und Halberstaedter nachweisen. Sie benutzten hierzu drei der gebräuchlichsten Dosimetergeräte: das Iontoquantimeter von Reiniger, Gebbert und Schall, den Siemens-Dosismesser, in Abb. 98 als „kleine Friedrichkammer" bezeichnet, und das Friedrich-Iontoquantimeter. Der sehr verschiedenartige, zum Teil sogar gekreuzte Verlauf der Kurven lehrt, daß die Art der Kammer das Meßergebnis sehr stark beeinflussen kann.

Den Einfluß des Meßgeräts auf das Meßergebnis der Halbwertschicht s. unter 3.

3. Die Halbwertschicht in einem bestimmten Filtermaterial als Maß der mittleren Härte.

Läßt man ein gegebenes Strahlengemisch der Reihe nach durch mehr und mehr Filter desselben Materials und bestimmter Dicke fallen, und mißt man vor und nach jeder Einzelfilterung die Ionisation, so nimmt diese mit zunehmender Gesamtfilterdicke ab. Trägt man die benutzten Filterdicken als Abszissen, die gemessenen Ionisationen als Ordinaten auf und legt man eine Kurve durch die Punkte, so kann man leicht diejenige Filterdicke bestimmen, durch welche die Ionisation des gegebenen Strahlengemisches auf die Hälfte herabgedrückt worden ist. Diese Filterdicke bezeichnet man als die Halbwertschicht des Strahlengemisches in dem betreffenden Filtermaterial.

Ist die gegebene Strahlung homogen oder monochromatisch, so kommt ihr für das betreffende Filtermaterial ein ganz bestimmter Schwächungskoeffizient μ zu. Zwischen diesem und der Halbwertschicht in demselben Material besteht eine einfache Beziehung. Ist J_0 die Ionisation durch die ungefilterte Strahlung und J die Ionisation nach Durchsetzen der Halbwertschicht d_{HW}, so besteht zufolge der Gleichung (2) die Beziehung

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu d_{HW}} = \frac{J_0}{2}. \tag{94}$$

Da sich J_0 kürzt, so wird

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu d_{HW}} \tag{95}$$

oder

$$2 = e^{+\mu d_{HW}}. \tag{96}$$

Logarithmiert man diese Gleichung, so erhält man:

$$\log_e 2 = \mu d_{HW} = 0{,}693. \tag{97}$$

Da der Schwächungskoeffizient in einem bestimmten Material von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen abhängig ist, so gilt diese Gleichung streng nur für homogene Strahlung; bei inhomogener Strahlung ist sie dann näherungsweise gültig, wenn man unter μ den mittleren Schwächungskoeffizienten des Strahlengemischs versteht, welcher vielfach auch mit μ_{eff} bezeichnet wird.

Als Beispiel dafür, wie stark die Messung der Halbwertschicht durch die Eigenart des Meßgeräts beeinflußt wird, mögen die Ergebnisse von Jaeger und Halberstaedter (Abb. 98) dienen. Setzt man mit ihnen die Ionisation an der Oberfläche gleich $1000\,‰$, so ergibt sich für dasselbe Strahlengemisch die Halbwertschicht in Kupfer mit dem Iontoquantimeter zu 0,25 mm Kupfer, mit der großen Friedrichkammer zu etwa 0,2 mm Kupfer und mit dem Siemens-Dosismesser zu 0,1 mm Kupfer. Diese ungeheueren Unterschiede lehren, daß Härteangaben, die mit einem Ionisationsgerät gewonnen wurden, das nicht mit einem Normalgerät wie die Druckluftkammer geeicht ist, ziemlich wertlos sind.

4. Der Schwächungskoeffizient in einem bestimmten Filtermaterial als Maß der mittleren Härte.

Während die Bestimmung der Halbwertschicht einer Strahlung in einem bestimmten Medium unter der Voraussetzung eines bestimmten Ionisationsgeräts auch bei inhomogener Strahlung stets zu einem eindeutigen Ergebnis führt, gilt dies für den Schwächungskoeffizienten μ nicht. Denn nach dem Röntgenschen Schwächungsgesetz ändert ein Strahlengemisch beim Durchgang durch ein Medium seine Härte, und auf die Bestimmung des Schwächungskoeffizienten ist es daher von Einfluß, eine wie dicke

Filterschicht man seiner Messung zugrunde legt. Je dünner diese ist, desto höher wird das Ergebnis für μ ausfallen und desto mehr wird es sich dem Werte nähern, der dem μ des Strahlengemisches entspricht. Aus diesem Grunde wählt man die Dicke des Filters nur so groß, als es gerade nötig ist, um das Verhältnis zwischen der Ionisation J_0 ohne Filter und der Ionisation J mit Filter genau genug zu messen. Aus der gewählten Filterdicke D in Zentimetern folgt dann für das betreffende Medium

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu D} \tag{98}$$

oder

$$\frac{J_0}{J} = e^{+\mu D}. \tag{99}$$

Logarithmieren liefert

$$\mu D = \log_e \frac{J_0}{J}. \tag{100}$$

Hierin bedeutet $\log_e$ den sog. natürlichen Logarithmus mit der Basis e = 2.718, welchen mit dem sog. Briggschen oder gemeinen Logarithmus $\log_{10}$ mit der Basis 10 die Beziehung verbindet:

$$\log_e Z = 2{,}30259 \cdot \log_{10} Z. \tag{101}$$

Hierdurch erhält man

$$\mu = \frac{2{,}30259}{D} \cdot \log_{10} \frac{J_0}{J}. \tag{102}$$

5. Filtermaterial, Homogenitätspunkt und praktische Homogenität.

Filtert man eine monochromatische Röntgenstrahlung, indem man der Reihe nach immer mehr Filter der gleichen Dicke in ihren Weg bringt, so wird, da der Schwächungskoeffizient μ für eine monochromatische Strahlung eine Konstante ist, durch Hinzufügen jedes einzelnen Filters die Intensität der Strahlung um den gleichen Prozentsatz geschwächt. Trägt man die Gesamtfilterdicken als Abszissen, die Logarithmen der zugehörigen, gemessenen Ionisationen als Ordinaten auf, so erhält man eine Gerade. Dieses Ergebnis läßt sich leicht aus der Gleichung

$$\mu D = \log_e \frac{J_0}{J} \tag{100}$$

ableiten, für die man auch

$$\mu D = \log_e \frac{J_0}{J} = \log_e J_0 - \log_e J \tag{103}$$

schreiben kann. Mit Hilfe der Beziehung (101) geht Gleichung (103) über in

$$\frac{\mu D}{2{,}30259} = \log_{10} J_0 - \log_{10} J, \tag{104}$$

worin J_0 und μ Konstanten, J und D Veränderliche sind. Setzt man deshalb:

$$\log_{10} J_0 = K_1 \tag{105}$$

und

$$\frac{\mu}{2{,}30259} = K_2, \tag{106}$$

so nimmt Gleichung (104) die Form

$$\log_{10} J = K_1 - K_2 \cdot D \tag{107}$$

an, und das ist die Gleichung einer Geraden, wenn man $\log_{10} J$ als Ordinaten und D als Abszissen aufträgt. Hierbei bedeutet D jedesmal die Gesamtfilterdicke in Zentimetern, bei der eine Ionisationsmessung ausgeführt wird.

Filtert man demgegenüber ein Strahlengemisch, so muß man, will man die Intensität der Strahlung durch Hinzufügen eines Filters in jedem Falle um denselben Prozentsatz schwächen, die Dicke der Filter immer größer wählen. Dies folgt aus unseren Betrachtungen unter 1 über das Röntgensche Schwächungsgesetz. Trägt man Filterdicken und Logarithmen der zugehörigen, gemessenen Ionisationen wieder als Koordinaten ein, so erhält man deshalb nunmehr eine gekrümmte Kurve. Bei Benutzung leichtatomiger Filter lehrt aber die Erfahrung, daß man, nachdem man eine hinreichend große Anzahl derselben von zunehmender Dicke in den Weg des Röntgenstrahls gebracht hat, die Stärke der Filter nicht mehr zu erhöhen braucht, um die Ionisation um den gleichen Prozentsatz zu schwächen. Bei der Kurve gibt sich das dadurch zu erkennen, daß sie, nach anfänglicher Krümmung, von da ab geradlinig verläuft. Man hat hieraus den Schluß gezogen, daß die Strahlung alsdann „praktisch monochromatisch" oder „praktisch homogen" sei.

In Wirklichkeit ist diese Schlußweise falsch, worauf Holthusen und der Verfasser wiederholt hingewiesen haben. Dies läßt sich leicht aus der Tabelle 6 erkennen, welche für verschiedene Medien die Zahlenwerte für den Massenabsorptionskoeffizienten und den Massenstreukoeffizienten liefert. Während die Massenabsorptionskoeffizienten bei abnehmender Wellenlänge proportional der dritten Potenz derselben sinken, gibt die Tabelle bei jedem Medium für den Massenstreukoeffizienten einen konstanten Zahlenwert an. Wie wir im II. Kapitel sahen, ist letzteres nicht ganz richtig: auch die Massenstreukoeffizienten sinken etwas mit abnehmender Wellenlänge, aber in viel geringerem Maße als die Massenabsorptionskoeffizienten. Und zwar ist dieses Sinken des Massenstreukoeffizienten nach Barkla und Sale um so geringer, je leichtatomiger das Filter ist; und auch Statz konnte bei Wasser keine Abnahme des Massenstreukoeffizienten mit der Wellenlänge mehr feststellen, während er bei Aluminium eine solche noch beobachtete. Wir werden daher annehmen dürfen, daß die Massenstreukoeffizienten der Tabelle 6 um so weniger abhängig von der Wellenlänge sind, je niedriger das Atomgewicht des Filtermaterials ist, und daß die Änderung des Massenstreukoeffizienten mit der Wellenlänge gegen die Änderung des Massenabsorptionskoeffizienten vernachlässigt werden darf. Betrachten wir nun für die verschiedenen Medien der Tabelle 6 bei abnehmender Wellenlänge die Beziehung zwischen den Massenabsorptionskoeffizienten und den Massenstreukoeffizienten, so zeigt sich folgendes: da bei Kohlenstoff der Massenabsorptionskoeffizient $1{,}0\,\lambda^3$ beträgt, der Massenstreukoeffizient aber 0,18, so wird schon bei verhältnismäßig langen Wellenlängen der erstere klein im Vergleich zum letzteren: demgegenüber tritt dies bei Kupfer wegen seines 147 mal so großen Absorptionskoeffizienten erst bei verhältnismäßig kurzen Wellenlängen ein. Aluminium steht zwischen beiden und unterscheidet sich vom Kupfer in demselben Sinne wie Kohlenstoff, und für Wasser gelten sehr ähnliche Zahlenbeziehungen wie für diesen. Diese Tatsachen sind von großer Wichtigkeit für die Prüfung von Strahlengemischen auf ihre Homogenität nach der Filtermethode, da die verschiedene Wirkungsweise der einzelnen Filter allein durch ihre Eigenschaft bestimmt wird, zu absorbieren und zu streuen.

Bilden wir entsprechend Gleichung (12) das Verhältnis V:

$$V = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{gestreute Energie}} = \frac{A \cdot \lambda^3}{\frac{\sigma}{\rho}}, \tag{108}$$

vernachlässigen wir, um einen zahlenmäßigen Überschlag zu gewinnen, die Wellenlängenabhängigkeit des Massenstreukoeffizienten, und setzen wir die V-Werte für verschiedene Medien zueinander in Beziehung, so erhalten wir

$$V_C : V_{H_2O} : V_{Al} : V_{Cu} = \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_C \cdot \lambda^3 : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{H_2O} \cdot \lambda^3 : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{Al} \cdot \lambda^3 : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{Cu} \cdot \lambda^3 \qquad (109)$$

oder, da sich die Wellenlängen kürzen,

$$V_C : V_{H_2O} : V_{Al} : V_{Cu} = \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_C : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{H_2O} : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{Al} : \left(\frac{A}{\frac{\sigma}{\rho}}\right)_{Cu}. \qquad (110)$$

Einsetzen der Zahlenwerte von Tabelle 6 liefert dann:

$$V_C : V_{H_2O} : V_{Al} : V_{Cu} = \frac{1{,}0}{0{,}18} : \frac{2{,}5}{0{,}18} : \frac{14{,}5}{0{,}16} : \frac{147}{0{,}5} = 5{,}55 : 13{,}9 : 90{,}6 : 294 \qquad (111)$$

oder

$$V_C : V_{H_2O} : V_{Al} : V_{Cu} = 1 : 2{,}5 : 16{,}3 : 53. \qquad (112)$$

Dieses Ergebnis lehrt, daß das Verhältnis der verschiedenen V-Werte zueinander, zum wenigsten der Größenordnung nach, bei verschieden harten Röntgenstrahlen denselben Zahlenwert besitzt, und zwar ist V für Kupfer etwa 50mal so groß als für Kohlenstoff, 20mal so groß als für Wasser und 3mal so groß als für Aluminium. Für Zink, das dem Kupfer im periodischen System benachbart ist, gelten nahezu dieselben Zahlenwerte.

Ist nun ein Strahlengemisch nach Durchsetzen einer gewissen Filterdicke eines leichtatomigen Filters zwar keineswegs monochromatisch, wohl aber im Mittel so hart geworden, daß seine weitere Schwächung im wesentlichen allein durch die Streuung der Filter hervorgerufen wird, so ändert sich bei weiterer Filterung der Schwächungskoeffizient nur noch in dem Maße, wie sich der Streukoeffizient ändert. Und da sich bei Wasser eine Änderung des Streukoeffizienten mit der Wellenlänge überhaupt kaum nachweisen läßt, so muß bei weiterer Filterung mit leichtatomigem Material die prozentuale Schwächung nahezu unabhängig von der Härte sein. Hierauf beruht der Übergang der anfänglich gekrümmten Kurve in eine Gerade. In Wirklichkeit sagt also die Filtermethode gar nichts darüber aus, von wann ab eine Strahlung „praktisch homogen" ist, sondern allein darüber, von wann ab die Absorption klein wird gegen die Streuung oder, mit anderen Worten, von wann ab unsere Filtermethode versagt.

Wir können aus dieser Überlegung zwei Folgerungen ziehen. Erstens ist zu erwarten, daß für zwei sehr harte Strahlengemische, die sich nur durch ihre mittlere Härte unterscheiden, die Filtermethode bei Verwendung eines leichtatomigen Filters sehr angenähert denselben „Homogenitätspunkt", in dem die Krümmung in eine Gerade übergeht, liefern wird, wofern nur die beiden Strahlungen so hart sind, daß die Absorption gegen die Streuung verschwindend klein wird. Für Wasser muß dies schon bei verhältnismäßig weichen Strahlen eintreten. Zweitens ist zu erwarten, daß bei Verwendung verschiedenen Filtermaterials (z. B. einmal Kupfer, einmal Aluminium) verschiedene „Homogenitätspunkte" für dasselbe Strahlengemisch erhalten werden.

Da die „praktische Homogenität", ermittelt an Aluminiumfiltern oder gar an Wasser, in der medizinischen Praxis eine große Rolle spielt, so unterzog der Verfasser obige Überlegungen einer experimentellen Prüfung, indem er dasselbe Strahlengemisch einer Wolframglühkathodenröhre bei etwa 195 kV einmal mit Kupfer, einmal mit Aluminium zunehmender Dicke filterte. Zwei so erhaltene Kurven sind in Abb. 99 dargestellt. Das Ergebnis lehrt:

a) Die Aluminiumfilterkurve geht nach anfänglicher Krümmung in eine Gerade über. Ein „Homogenitätspunkt H" wird hier, wie zu erwarten, tatsächlich vorgetäuscht.

b) Die Kupferfilterkurve verläuft gekrümmt; eine Geradlinigkeit läßt sich nicht nachweisen. Demgegenüber zeigt sich mit aller Deutlichkeit, daß, wenn die Strahlung

durch Kupferfilterung auf denselben Bruchteil ihrer Anfangsionisation geschwächt ist wie bei Aluminiumfilterung im „Homogenitätspunkt H", die Kupferfilterkurve sehr deutlich weiterhin ihre kontinuierliche Krümmung aufweist.

Hieraus folgt: „Homogenitätspunkt" und „praktische Homogenität" sind durch Eigenschaften zu leichtatomiger Filter vorgetäuscht. Ihnen kommt keinerlei Realität zu. Im Hinblick auf die eben überschlägig berechneten V-Werte ist demnach Wasser noch weitaus ungeeigneter als Aluminium, um mit seiner Hilfe die Homogenität einer Strahlung zu prüfen.

Glocker und Kaupp haben die Frage, ob sich die Härte eines Strahlengemisches wirklich schärfer durch die Bestimmung seines Schwächungskoeffizienten μ_{Cu} in Kupfer oder seines Schwächungskoeffizienten μ_{H_2O} in Wasser charakterisieren läßt, einer experimentellen Prüfung unterzogen. Sie benutzten hierzu eine Reihe verschiedener Reststrahlengemische, für deren jedes sie μ_{H_2O} und μ_{Cu} bestimmten. Das von beiden Herren freundlichst zur Verfügung gestellte Zahlenmaterial gibt Tabelle 53. Die Ergebnisse lehren in Übereinstimmung mit unseren theoretischen Erwägungen, daß der Schwächungskoeffizient in Wasser nur sehr geringe Unterschiede zeigt, die, um überhaupt deutlich in Erscheinung zu treten, hohe Forderungen an die Meßgenauigkeit stellen. Die Zahlenwerte für μ_{H_2O} liegen alle sehr nahe bei dem Werte 0,18, der in Tabelle 6 für den Massenstreukoeffizienten für Wasser angeführt wird. Daß sie zum Teil niedriger sind als dieser, kann ebensogut in der Form der Ionisationskammer wie in dem Umstande begründet liegen, daß der Wert 0,18 der Abnahme der Massenstreuung mit der Wellenlänge keine Rechnung trägt. Sicher aber kann gesagt werden, daß bei den Untersuchungen von Glocker und Kaupp der mittlere Massenabsorptionskoeffizient für Wasser sehr klein sein wird im Vergleich zu dem beobachteten Massenschwächungskoeffizienten und damit auch im Vergleich zum Massenstreukoeffizienten, der die Differenz beider darstellt. Da bei Wasserfilterung also der Massenabsorptionskoeffizient, der allein über die mittlere Härte des Strahlengemisches Aufschluß zu geben vermag, schon bei verhältnismäßig gering gefilterten Therapiestrahlen außerordentlich klein wird und deshalb neben der beobachteten großen Massenstreuung kaum in Erscheinung tritt, erweist sich die Wasserfilterung zur Bestimmung der Härte eines Strahlengemisches als ungeeignet. Dieser Umstand dürfte auch die Unterschiede in den Angaben verschiedener Autoren über die Schwächungskoeffizienten der von ihnen benutzten Strahlengemische in Wasser erklären.

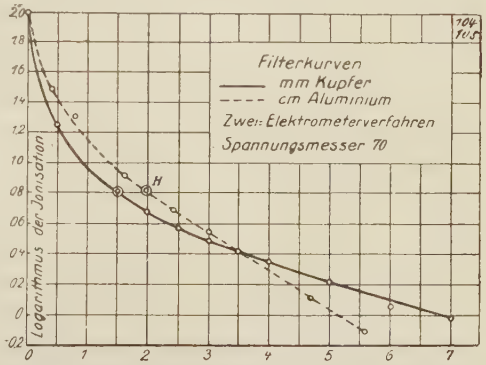


Abb. 99. Filterkurven an Aluminium und Kupfer nach Küstner.

Tabelle 53. Schwächungskoeffizienten verschiedener Strahlengemische in Wasser und Kupfer nach Glocker und Kaupp.

Vorfilter	1 mm Kupfer		0,5 mm Kupfer			
Parallelfunkenstrecke zwischen Spitzen	44 cm	42 cm	44 cm	42 cm	36 cm	32 cm
μ_{H_2O}	0,166	0,168	0,170	0,173	0,175	0,178
μ_{Cu}	5,0	5,3	5,69	6,48	6,96	7,36

Demgegenüber weist der Schwächungskoeffizient in Kupfer einen weit größeren Gang mit der Härte der Strahlen auf. Während sich für die beiden ersten, härtesten Strahlengemische die Werte μ_{H_2O} nur um 1,6 % unterscheiden, beträgt der Unterschied von μ_{Cu} 6 %. Bei dem ersten und letzten, nur mit 0,5 mm Kupfer vorgefilterten Reststrahlengemisch unterscheiden sich die μ_{H_2O}-Werte nur um 4,7 %, die μ_{Cu}-Werte aber um 29,4 %! Der Schwächungskoeffizient in Kupfer zeigt demnach einen weit stärkeren Gang mit der Härte der Röntgenstrahlen und ist daher dem Schwächungskoeffizienten in Wasser zur Charakterisierung eines Strahlengemisches weit überlegen. Prinzipiell gleichwertig ist dem Kupferfilter das Zinkfilter, da Zink, als Nachbarelement des Kupfers im periodischen System, sehr nahe die gleichen Eigenschaften hat wie dieses. Indessen ist reines Zink nur verhältnismäßig schwer zu erhalten, so daß bei Verwendung von Zinkfiltern zur Härtemessung Vorsicht geboten ist.

Um die Leistungsfähigkeit der Kupferfiltermethode zu untersuchen, stellte der Verfasser durch Wahl verschiedener Röhrenspannungen und verschieden dicker Kupfer-

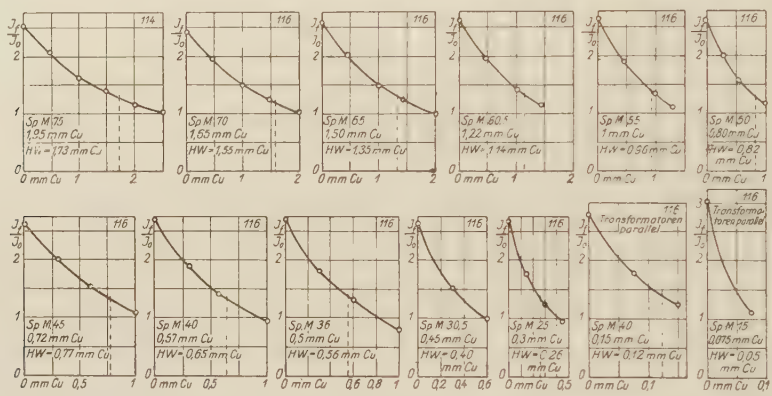


Abb. 100. Bestimmung der Halwertschichten in Kupfer von 13 Strahlengemischen nach Küstner.

filter 13 verschiedene Reststrahlengemisch her. Diese waren, infolge ihrer starken Kupferfilterung, teilweise auserordentlich viel homogener als die in der Tiefentherapie gebräuchlichen Strahlengemische und auch als die von Glocker und Kaupp benutzten. Der Verfasser unterwarf diese 13 Reststrahlengemische nach der Zweielektrometer-Methode einer Bestimmung ihrer Halbwertschicht in Kupfer. Abb. 100 zeigt die Ergebnisse. Als Abszisse ist die Dicke der Kupferfilter aufgetragen, mit denen das Reststrahlengemisch gefiltert wurde, als Ordinate das Verhältnis $J_f : J_0$, d. h. die Ionisation durch das gefilterte Reststrahlengemisch, bezogen auf die Ionisation des ungefilterten Reststrahlengemisches. Trotz der verhältnismäßig guten Homogenität der Reststrahlengemische unterscheiden sich die in Abb. 100 angegebenen Werte für die Halbwertschichten HW in Millimeter Kupfer sehr deutlich voneinander. Die Methode ist also zur Analyse eines Strahlengemisches sehr gut geeignet.

Die Härtemessung in der Diagnostik gebräuchlicher, verhältnismäßig weicher Strahlengemische wird demgegenüber am besten mit Aluminiumfiltern durchgeführt. Denn Kupferblech hinreichend geringer Stärke ist im allgemeinen nicht zu bekommen. Für die weichen, diagnostischen Strahlengemische ist auch die Absorption im Aluminium etwa von gleicher Größenordnung wie die Streuung, so daß hier die Bedenken gegen das Aluminium in Wegfall kommen, die gegen dasselbe für harte Tiefentherapiestrahlungen erhoben wurden.

6. Der Heterogenitätsfaktor nach Christen.

Durch die Halbwertschicht oder den Schwächungskoeffizienten in einem bestimmten Filtermaterial ist ein Strahlengemisch keineswegs eindeutig bestimmt. Denn es ist ohne weiteres denkbar, daß, trotz gleichen Filtermaterials, zwei verschiedene Strahlengemische dieselbe Halbwertschicht oder dasselbe μ_{eff} besitzen; dies kann dann eintreten, wenn sich das eine Strahlengemisch sowohl in dem Bereich härterer wie in den weicherer Wellenlängen ausdehnt als das andere.

Die Halbwertschicht einer Röntgenstrahlung in einem bestimmten Filtermaterial sei d_1. Die aus diesem Filter wieder austretende Strahlung werde weiterhin untersucht und habe die Halbwertschicht d_2. Die Strahlung, die die Filter der Gesamtdicke $d_1 + d_2$ wieder verläßt, besitze die Halbwertschicht d_3 usf.

Völlig monochromatische Strahlung wird durch Filterung nur in ihrer Intensität, nicht aber in ihrer Wellenlänge geändert. Bei monochromatischer Strahlung sind also alle aufeinander folgenden Halbwertschichten einander gleich und ihr Verhältnis ist

$$d_1 : d_2 : d_3 \ldots = 1. \tag{113}$$

Ein inhomogenes Strahlengemisch wird demgegenüber nach dem Röntgenschen Schwächungsgesetz mit zunehmender Filterdicke im Mittel immer härter. Die zweite Halbwertschicht d_2 wird deshalb größer sein als die erste d_1, die dritte größer als die zweite usf. Christen hat das Verhältnis

$$h = \frac{d_2}{d_1} \tag{114}$$

als den Heterogenitätsfaktor bezeichnet. Je homogener das Strahlengemisch ist, desto näher liegt h an 1, je inhomogener es ist, desto größer ist h als 1. Aus diesem Grunde stellt der Heterogenitätsfaktor h ein durchaus zweckentsprechendes Maß für den Homogenitätsgrad eines Strahlengemisches dar. Voraussetzung ist aber auch hier, daß ein geeignetes Filtermaterial wie Kupfer verwendet wird. Denn, wie wir sahen, ist die Massenschwächung hinreichend harter Strahlengemische in einem leichtatomigen Filter, wie z. B. Wasser, stets nahezu gleich, und deshalb würde sich bei Verwendung eines solchen auch bei verschiedenen Strahlengemischen hinreichender Härte $h = d_2 : d_1$ stets sehr nahezu gleich 1 ergeben und folglich kein Kriterium für die Homogenität des Strahlengemisches sein.

7. Die prozentuale Tiefendosis in Wasser als Maß der mittleren Härte.

In der Praxis kommt es in erster Linie darauf an, die Tiefendosis zu kennen, die, in Prozenten der Oberflächendosis, bei einem bestimmten Strahlengemisch in bestimmter Tiefe erzielt wird. Aus praktischen Gründen wird diese deshalb häufig zur Charakterisierung der Härte eines Strahlengemisches benutzt. Wie wir im neunzehnten Kapitel sehen werden, ist es nicht möglich, dieselbe rechnersich zu erfassen; man ist daher auf ihre experimentelle Bestimmung angewiesen. Die Schwierigkeiten, die hierbei noch zu den soeben erörterten hinzutreten, sollen im nächsten Kapitel behandelt werden. Die Tiefendosis muß aus praktischen Gründen in einem Material bestimmt werden, das möglichst genau dieselben Absorptions- und Schwächungsverhältnisse und dieselbe Dichte aufweist wie menschliches Gewebe: man bedient sich deshalb eines leichtatomigen Materials wie Wasser oder Paraffin. Wie wir ebenfalls im nächsten Kapitel sehen werden, wird die Ionisation in der Tiefe aber im wesentlichen durch die Streustrahlung bedingt. Schon aus diesem Grunde eignet sich die Angabe der Tiefendosis noch weniger zur

Härtedefinition als die Bestimmung des Schwächungskoeffizienten in Wasser. Da sich die Tiefendosis desselben Strahlengemisches aber auch noch mit der Größe des Einfallsfeldes, mit dem Brennfleckabstand des Mediums und mit dessen Material ändert, so vermag sie nur unter gleichzeitiger Angabe dieser drei Faktoren und des Dosimeters innerhalb der Grenzen ihrer geringen Leistungsfähigkeit zu eindeutiger Definition der Härte eines Strahlengemisches zu dienen.

Trotzdem wird in der Praxis meist die Tiefendosis zur Charakterisierung der Strahlung verwandt. Denn dem Praktiker kommt es auf die Tiefendosis selbst an, nicht auf den Schwächungskoeffizienten oder die Halbwertschicht, aus denen er die Tiefendosis ja doch nicht errechnen kann. Er begnügt sich mit Recht damit, Strahlungen durch ihr Verhalten im Innern des Körpergewebes zu definieren, einerlei, ob sie vor ihrem Eintritt in dieses genau denselben Grad von Homogenität oder Härte besitzen. Die von Seitz und Wintz in 10 cm Wassertiefe gemessene prozentuale Tiefendosis ist alsdann nach den Untersuchungen von Holfelder, Bornhauser und Yaloussis ein besonders günstiges Kriterium für die Qualität einer Strahlung (neunzehntes Kapitel).

Demgegenüber verdient die Bestimmung einer Strahlung durch ihre Halbwertschicht oder ihren Schwächungskoeffizienten in Kupfer überall da den Vorzug, wo es sich um möglichst scharfe Charakterisierung eines besonders homogenen Strahlengemisches handelt; dies kommt beispielsweise bei wissenschaftlichen Untersuchungen oder bei Eichungen in Frage.

Neunzehntes Kapitel.

Die Tiefendosis und ihre Messung.

1. Oberflächendosis, Tiefendosis, Dosenquotient und prozentuale Tiefendosis.

Unsere bisherigen Betrachtungen erstreckten sich nur auf die Messung von Intensität und Härte der Röntgenstrahlen mit oder ohne Filter im Luftraum. Wir wenden uns nun der Bestimmung der Röntgenstrahlenintensität in der Körpertiefe zu als einem Problem, das für die medizinische Praxis außerordentliche Bedeutung besitzt.

Messen wir die Intensität einer gegebenen Röntgenstrahlung einmal, indem wir eine Fingerhutkammer in bestimmtem Brennfleckabstand frei in Luft aufstellen, das andere Mal, indem wir eine größere Menge Körpergewebe oder Wasser unmittelbar hinter die Kammer bringen, so werden wir im letzten Falle eine beträchtlich höhere Intensität feststellen. Die Ursache ist in der Streustrahlung zu suchen, die der Kammer im zweiten Falle durch das Medium zugestrahlt wird, und die ihre Wirkung zu der der Primärstrahlung addiert. Für eine solche an der Körperoberfläche gemessene Dosis hat man daher den Begriff der „Oberflächendosis“ geprägt.

Demgegenüber bezeichnet man eine Dosis im Innern des Körpers oder Phantoms als „Tiefendosis“.

Vielfach setzt man für die Oberflächendosis den Zahlenwert 100 und für die Tiefendosen relative Zahlenwerte. Dividiert man die in einer bestimmten Tiefe gemessene Tiefendosis durch die Oberflächendosis, so erhält man für die betreffende Stelle den „Dosenquotienten“ in Prozenten der Oberflächendosis. Für das Verhältnis der Tiefendosis in 10 cm Tiefe zur Oberflächendosis führten Seitz und Wintz die Bezeichnung „prozentuale Tiefendosis“ ein.

Der Dosenquotient in einer bestimmten Tiefe ist abhängig von der Entfernung der

Strahlenquelle von der Oberfläche des bestrahlten Objekts, von der Absorption in diesem und von der Streustrahlung desselben. Lange Zeit hat man die Bedeutung der letzteren unterschätzt und deshalb geglaubt, man könne einen Dosenquotienten rein rechnerisch allein aus der Absorption und aus dem Brennfleckabstand unter Benutzung des quadratischen Abstandsgesetzes und des Absorptionskoeffizienten ermitteln. Friedrich und Krönig erkannten als erste den ungeheueren Einfluß der Streustrahlung. Dieser läßt sich auch heute noch nicht rechnerisch erfassen, und so gilt auch heute noch das von ihnen aufgestellte Gesetz:

„Eine Tiefendosis läßt sich nicht berechnen aus der Halbwertschicht und dem Abstandsgesetz. Läßt sich die Dosis in der Tiefe nicht durch Einführung der Meßkammer des Dosimeters direkt bestimmen, so bleibt als gangbarer Weg die Bestimmung der Dosis für die gewünschte Tiefe im Wasserphantom bei Einhaltung möglichst derselben Bedingungen wie bei der therapeutischen Bestrahlung."

Wer Tiefentherapie betreibt, ist auch heute noch vor die Aufgabe gestellt, Tiefendosen und Dosenquotienten zu messen. Ihre Bestimmung gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Röntgenmeßtechnik. Nur so erklärt es sich, daß auch Forscher von Ruf zu quantitativ unrichtigen Ergebnissen gelangten. Seit den ersten Untersuchungen von Krönig und Friedrich bis zu den Präzisionsmessungen von Holfelder, Bornhauser und Yaloussis haben die Ergebnisse beträchtliche Verbesserungen erfahren. Dies war nur möglich durch die fortschreitende Erkenntnis anfänglich verborgener und doch schwerwiegender Fehlerquellen. So wird nur derjenige, dem diese Fehlerquellen bekannt sind, das erforderliche Höchstmaß an Meßgenauigkeit erreichen, das allein vor verhängnisvollen Rückschlägen schützen kann. Aus diesem Grunde müssen sowohl diejenigen Faktoren, von denen der Wert des Dosenquotienten abhängt, als die Fehlerquellen bei seiner Bestimmung genau behandelt werden.

2. Prinzipielles zur Messung des Dosenquotienten.

Nach der Definition von Behnken (IX. Kapitel) ist die Dosis der Ionisation proportional. Die Messung der Tiefendosis setzt die Anwendung einer möglichst kleinen Ionisationskammer voraus. Solange wir annehmen dürfen, daß die mittlere Härte der Röntgenstrahlung auch in der Tiefe des Körpergewebes oder Phantoms keine so starke Änderung erfährt, daß die Wellenlängenabhängigkeit der Kammer störend in Erscheinung tritt, dürfen wir deshalb den Dosenquotienten und die prozentuale Tiefendosis dem Quotienten aus der in der Tiefe und an der Oberfläche gemessenen Ionisation proportional setzen.

Die genauesten Ergebnisse sind mit Hilfe der Zweielektrometer-Methode zu erwarten. Hierbei hält man die Kammerstellung des einen Geräts unverändert, während man die Kammer des anderen ihre Stellung zwischen Oberfläche und Tiefe wechseln läßt. Es empfiehlt sich, die feststehende Kammer außerhalb des untersuchten Strahlenkegels zu belichten, um eine Schattenwirkung ihres Trägers zu vermeiden.

Bei Verwendung nur eines Meßgeräts muß für peinlichst genaue Konstanz der Betriebsbedingungen gesorgt werden.

3. Faktoren, welche den Wert des Dosenquotienten beeinflussen.

Durchsetzt ein Röntgenstrahlbündel ein bestimmtes Medium bestimmter Dicke, so breitet sich von jedem Punkte, der von dem primären Strahlenbündel getroffen wird, wenn auch verschieden intensiv in verschiedenen Richtungen, so doch nach allen Richtungen Streustrahlung aus. Diese Streustrahlung wird daher sowohl solche Punkte des

Mediums treffen, die außerhalb des primären Strahlenbündels liegen, als auch solche, die sich innerhalb desselben befinden. Im letztgenannten Falle erhält jeder Punkt außer der Primärstrahlung noch eine Streuzusatzstrahlung. Die Größe derselben hängt von dem Streukoeffizienten und von rein geometrischen Verhältnissen ab.

a) Der Intensitätsabfall mit zunehmendem Abstande vom Zentralstrahl.

Eine einfache Überlegung erklärt uns leicht qualitativ diesen Intensitätsabfall. Das Rechteck der Abb. 101 stelle einen zum Zentralstrahl senkrechten Schnitt durch das rechteckige Strahlenbündel dar, dessen Strahlungsquelle wir uns so weit hinter der Zeichenebene liegend denken, daß wir, ohne einen nennenswerten Fehler zu begehen, alle in der Zeichenebene liegenden Punkte als gleich weit vom Brennfleck ansehen dürfen. Alle diese Punkte erhalten dann dieselbe Primärstrahlung, und jeder dieser Punkte sendet deshalb nach allen Richtungen in der Zeichenebene dieselbe Streustrahlungsenergie aus. Wir greifen nun willkürlich 5 Punkte I—V heraus, die in gleichem Abstande auf der Parallelen zur großen Kante des Rechtecks durch dessen Mittelpunkt liegen, und wir betrachten der Reihe nach, welche gestreute Energie die Punkte III, II und I von den anderen 4 Punkten erhalten. Punkt III bekommt Streustrahlung von den beiden gleich weit entfernten Nachbarpunkten II und IV und von den beiden doppelt so weiten Punkten I und V. Demgegenüber erhält Punkt II Streustrahlung zwar auch von seinen 2 Nachbarpunkten I und III, darüber hinaus aber nur von dem einen Punkte IV in doppeltem Abstande und von dem Punkte V in dreifachem Abstande. Die dem Punkte II zugestrahlte Streustrahlung muß also etwas kleiner sein als die von Punkt III aufgenommene. Schließlich erhält der Randpunkt I seine Streustrahlung aus einfacher, doppelter, dreifacher und vierfacher Entfernung: er erhält also noch weniger als Punkt II. Die Intensität zeigt also tatsächlich einen Abfall nach dem Rande hin.

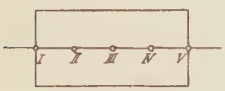


Abb. 101. Schnitt senkrecht zum Zentralstrahl durch ein rechteckiges Röntgenstrahlenbündel unterhalb der Wasseroberfläche.

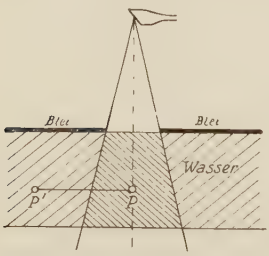


Abb. 102.
Zur Streuzusatzstrahlung.

Daß diese Betrachtung nur qualitativen Wert besitzen kann, folgt schon daraus, daß wir allein 5 Punkte beliebig herausgriffen und alle dazwischen, daneben, darüber und darunter liegenden vernachlässigten. Dehnen wir aber unsere Betrachtung auf Zwischen- und Nebenpunkte aus, so ergibt sich für jeden einzelnen qualitativ dasselbe Gesetz der Intensitätsabnahme nach dem Rande zu. Die Durchführung muß freilich dem Leser überlassen bleiben.

Daß ein Punkt P außerhalb des Primärstrahlkegels eine um so geringere Streustrahlung erhält, je weiter er vom Kegel entfernt ist, folgt ebenfalls aus unseren Abstandsbetrachtungen. Der Streustrahlenmantel um den Primärstrahlenkegel muß also nach außen hin schwächer werden.

Eine Frage, die in neuester Zeit aufgeworfen wurde, ist die, ob die Intensität an der Grenze des Primärstrahlenbündels eine sprunghafte Änderung erleidet oder nicht. Nach Messungen von Dessauer und Vierheller auf photographischer Grundlage sollte sich der Intensitätsübergang kontinuierlich vollziehen. Eine einfache Überlegung lehrt indessen, daß dies a priori unmöglich ist. Betrachten wir allein die Streuzusatzstrahlung, die ein Punkt P erhält, und lassen wir diesen vom Innern des Primärstrahlenkegels durch dessen Begrenzung nach P′ wandern, wie das in Abb. 102 angedeutet ist. Seine mitt-

lere Entfernung von allen Streustrahlungsquellen nimmt dann völlig stetig ab, und beim Grenzübergang durch den Primärstrahlenmantel kann die Streustrahlung, die P erhält, nur abnehmen, keinesfalls aber zunehmen. Da sich aber der Streustrahlung innerhalb des Primärstrahlenkegels noch die Primärstrahlung überlagert, welche, scharfen Brennfleck und scharfe Blende vorausgesetzt, aus rein geometrischen Gründen scharf begrenzt sein muß, so muß notwendigerweise trotz der Streuzusatzstrahlung die Schärfe der Primärstrahlbegrenzung auch im streuenden Medium erhalten bleiben. Den Beweis hierfür erbrachten Holfelder, Bornhauser und Yaloussis nach der Ionisationsmethode und Gottlieb auf photographischem Wege. Die experimentelle Behandlung dieses Problems setzt aber die

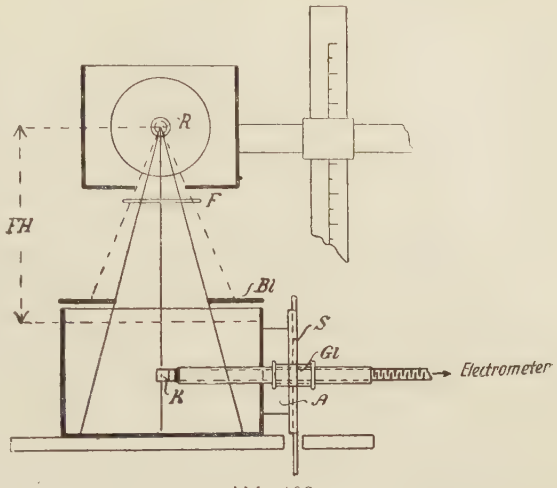


Abb. 103.
Versuchsanordnung von Friedrich und Körner.

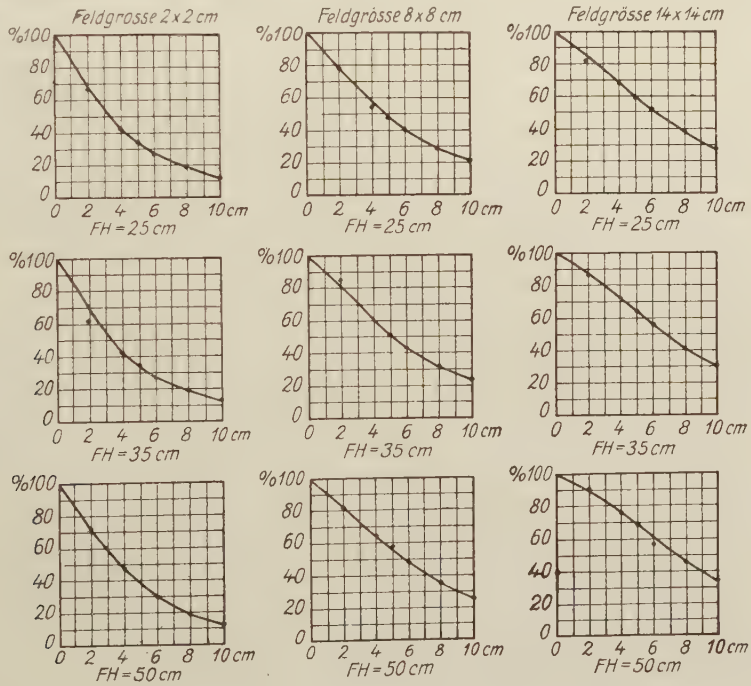


Abb. 104. Messungen der Tiefendosis von Friedrich und Körner.

Kenntnis zahlreicher Meßfehlerquellen voraus, und wir können erst dann, wenn wir uns mit diesen vertraut gemacht haben, auf jene wichtigen Untersuchungen näher eingehen.

b) Der Einfluß der Größe des Einfallsfeldes auf den Dosenquotienten.

Die Streuzusatzstrahlung nimmt zu mit der Größe des Einfallsfeldes. Dies ergibt sich aus der Betrachtung des Zentralstrahles. Bei kleinem Einfallsfelde wird nur ein

verhältnismäßig kleines Volumen vom Primärstrahl getroffen, dessen Punkte den auf dem Zentralstrahl gelegenen Punkten einen Streuzusatz zustrahlen; bei einem großen Einfallsfelde gibt es demgegenüber viele solche Streustrahlungsquellen in der Umgebung des Zentralstrahles. Wegen dieser Zunahme der Streuzusatzstrahlung geht auch eine Erhöhung der Tiefendosis mit der Steigerung der Feldgröße Hand in Hand.

Von den vielen Messungen des Tiefenquotienten greifen wir hier diejenigen von Friedrich und Körner heraus, deren Versuchsanordnung vorbildlich ist. Diese zeigt Abb. 103. Sie bedienten sich eines Wasserphantoms, da Wasser außerordentlich nahe denselben Absorptions- und Streukoeffizienten pro Masseneinheit besitzt wie Muskelgewebe. Das Wasserphantom bestand aus einem zylindrischen Zinkblechgefäß von 35 cm Durchmesser und 25 cm Höhe und war etwa bis zu 20 cm Höhe mit Wasser gefüllt. Zur Messung diente eine Fingerhutkammer aus 0,1 mm starkem Aluminiumblech und von 1 ccm Inhalt, die durch ein Kabel mit einem Wulfschen Zweifadenelektrometer

Tabelle 54. Prozentuale Tiefendosis für verschiedene Einfallsfelder und Brennfleckabstände nach Friedrich und Körner. Parallelfunkenstrecke: 38 cm.

Feld	Fokushautabstand in cm					
	25	30	35	40	45	50
	Filter: 1 mm Kupfer; Halbwertschicht 3,3 cm Wasser					
2×2	12,1	—	12,4	—	—	12,4
8×8	21,5	—	23,0	—	—	26,2
14×14	27,9	28,2	30,2	31,2	32,4	33,7
20×20	—	33,6	34,6	37,9	—	41,4
	Filter: 10 mm Aluminium; Halbwertschicht 2,9 cm Wasser					
2×2	10,1	—	10,3	—	—	10,9
8×8	19,4	—	20,9	—	—	22,8
14×14	22,1	23,1	25,5	25,7	26,2	25,7
20×20	—	26,1	28,1	29,6	—	31,2

verbunden war. Zur Einführung der Kammer war seitlich an dem Gefäß ein Ansatz A angebracht, der mit einem eingeschliffenen Metallschieber S geschlossen war. Dieser gestattete bequem ein Auf- und Abwärtsführen der Meßkammer und trug eine Zentimetereinteilung zur Tiefeneinstellung. R ist eine Glühkathoden-Röntgenröhre, F ein Filter zur Homogenisierung des Strahlengemischs, Bl eine Bleiblende und FH der Brennfleckabstand von der Wasseroberfläche.

Die Ergebnisse ihrer Messungen längs des Zentralstrahles sind in Abb. 104 und 107 und Tabelle 54 für verschiedene Einfallsfelder und Brennfleckabstände dargestellt. Man erkennt, daß sich die prozentuale Tiefendosis beim Übergang von Einfallsfeldern von 2 × 2 qcm zu solchen von 20 × 20 qcm teilweise mehr als verdreifacht.

Großmann bediente sich kugelförmiger Ionisationskammern aus 1 mm dickem, innen graphitiertem Elfenbein; die Meßelektrode bildete eine zu jener konzentrische, außen graphitierte Elfenbeinkugel. An der Wasseroberfläche tauchte die Kugel bis zur Hälfte ins Wasser ein. Nach seinen Messungen nimmt die prozentuale Tiefendosis ebenfalls mit der Größe des Einfallsfeldes zu, doch scheint sie sich bei Einfallsfeldern, deren Durchmesser nicht viel größer als 25 cm ist, einem Grenzwerte zu nähern (Abb. 105).

c) Der Einfluß des Brennfleckabstandes auf den Dosenquotienten.

Für dasselbe Einfallsfeld verteilt sich diejenige Röntgenstrahlung, die durch die Oberfläche tritt, in einer bestimmten Tiefe bei kleinem Brennfleckabstand über eine große

Fläche (Abb. 106a), bei großem Brennfleckabstande aber über eine kleine (Abb. 106b). Bezogen auf gleiche Intensität an der Oberfläche ist also die Intensität der Primärstrahlung in bestimmter Tiefe bei großem Brennfleckabstand größer als bei kleinem. Außerdem erhalten aber die Punkte des Zentralstrahls ihre Streuzusatzstrahlung von Zentren her zugestrahlt, deren mittlere Entfernung vom Zentralstrahl im Falle a größer ist als

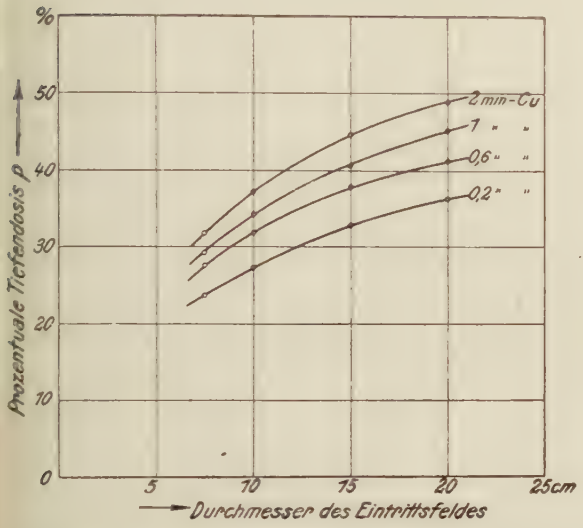


Abb. 105. Die prozentuale Tiefendosis in Abhängigkeit vom Durchmesser des kreisrunden Einfallsfeldes nach Großmann. Scheitelspannung 189 kV. Brennfleckabstand des Wasserspiegels 50 cm.

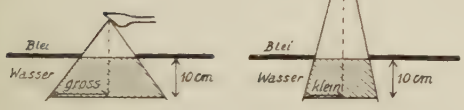


Abb. 106a. Abb. 106b.

Einfluß des Brennfleckabstandes auf den Dosenquotienten.

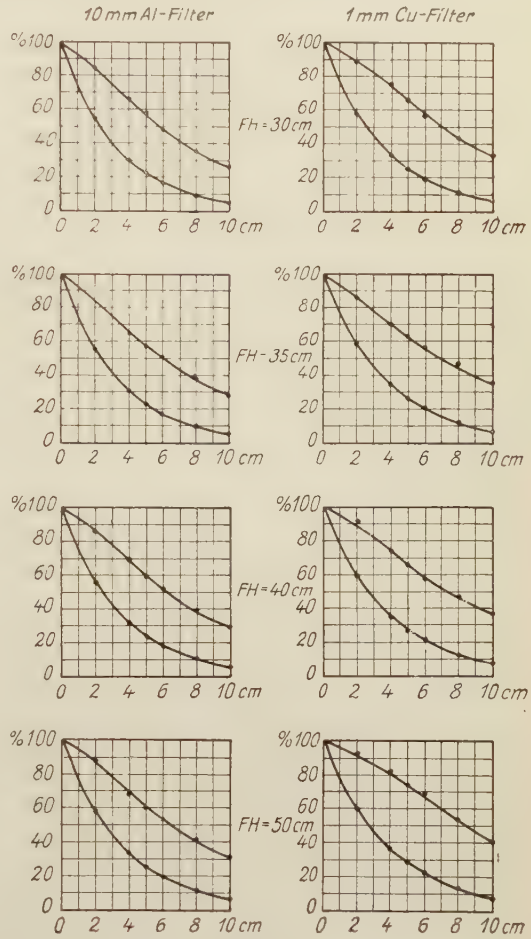


Abb. 107. Messung und Berechnung des Dosenquotienten von Friedrich und Körner.

im Falle b. Bezogen auf gleiche einfallende Röntgenenergie ist daher auch die Streuzusatzstrahlung in bestimmter Tiefe bei großem Brennfleckabstande größer als bei kleinem. Aus diesen Gründen nimmt der Dosenquotient mit wachsendem Brennfleckabstande zu.

Die Ergebnisse von Friedrich und Körner (Abb. 104 und 107 [obere Kurven] und Tabelle 54) lassen diesen Einfluß des Brennfleckabstandes deutlich erkennen.

Großmann fand bei 190 kV und kreisrundem Einfallsfeld von 20 cm Durchmesser die prozentuale Tiefendosis für 70 cm Brennfleckabstand im Mittel um 20% größer als bei 35 cm (Abb. 108).

d) Einfluß der Härte der Röntgenstrahlen auf den Dosenquotienten.

Die Abb. 109 und 110 geben nach Großmann bei verschiedener Kupferfilterung und bei verschiedenen Einfallsfeldern die Abhängigkeit der prozentualen Tiefendosis p von der Scheitelspannung V der Röntgenmaschine wieder, während Abb. 111 den Einfluß der Dicke der Kupferfilterung auf p bei verschiedenen Scheitelspannungen zeigt. Man erkennt, daß die prozentuale Tiefendosis nach anfänglicher Zunahme schließlich sowohl von einer gewissen Röhrenspannung wie von einer gewissen Filterdicke an nicht mehr zunimmt. Dieser Befund ist leicht verständlich. Ist die Strahlung so hart, daß die Absorption klein ist im Vergleich zur Streuung, so wird die Verteilung der Röntgenenergie im wesentlichen allein durch die Streuung bestimmt, und diese ist nahezu unabhängig von der Wellenlänge. Die hier mitgeteilten Absolutwerte der prozentualen Tiefendosis sind nach Angabe von Großmann möglicherweise zu hoch, da sich die Messung mit kleineren Kammern nicht durchführen ließ (vgl. 5c—e).

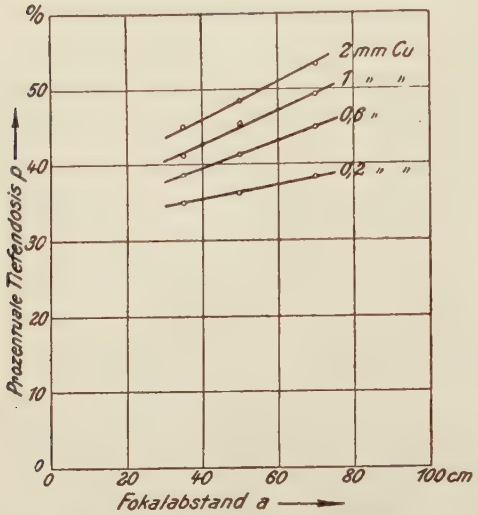


Abb. 108. Die prozentuale Tiefendosis in Abhängigkeit vom Brennfleckabstand des Wasserspiegels nach Großmann. Scheitelspannung 189 kV. Durchmesser des Einfallsfeldes 20 cm.

e) Die Größe der Streuzusatzstrahlung.

Um festzustellen, wie groß die Streuzusatzstrahlung bei verschiedenen Feldgrößen und Abständen ist, ermittelten Friedrich und Körner die Halbwertschichten in Wasser

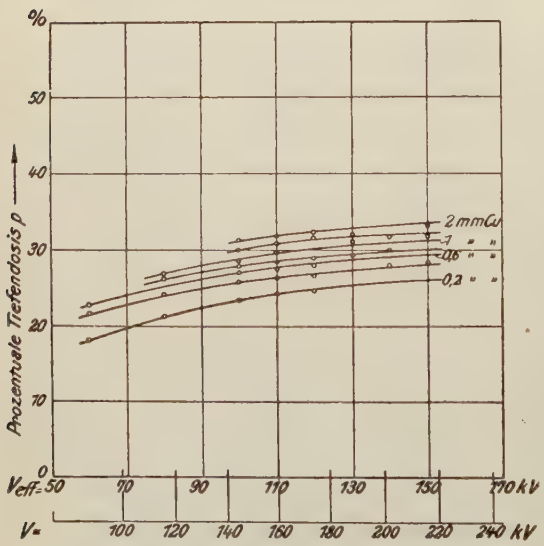


Abb. 109. Durchmesser des Einfallsfeldes 7,5 cm.

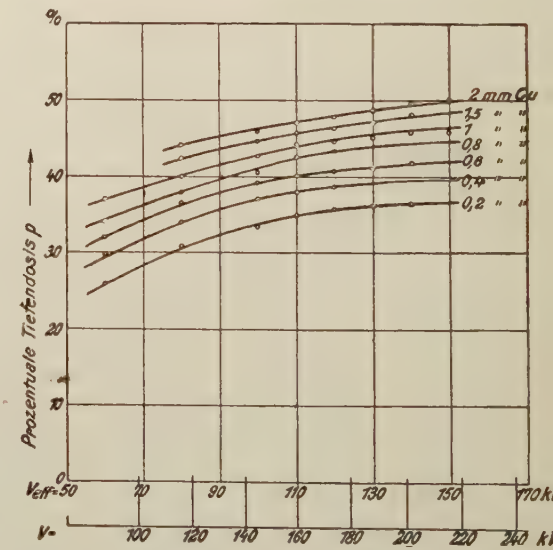


Abb. 110. Durchmesser des Einfallsfeldes 20 cm.

Die prozentuale Tiefendosis in Abhängigkeit von der Röhrenscheitelspannung nach Großmann. Brennfleckabstand des Wasserspiegels 50 cm.

der von ihnen benutzten Röntgenstrahlengemische. Sie fanden für die mit 10 mm Aluminium gefilterte Röntgenstrahlung eine Halbwertschicht von 2,9 cm Wasser und für die mit 1 mm Kupfer gefilterte Strahlung eine Halbwertschicht von 3,3 cm Wasser. Mit Hilfe dieser Halbwertschichten und mit Hilfe des Gesetzes, daß die Intensität der Röntgenstrahlung umgekehrt proportional dem Quadrate des Brennfleckabstandes ist, berechneten sie die Intensität der Primärstrahlung allein für die verschiedenen Wassertiefen oder, mit anderen Worten, diejenigen Zahlenwerte, die die Messung dann ergeben würde, wenn es keine Streuzusatzstrahlung gäbe. Die Ergebnisse dieser Rechnung zeigen die unteren Kurven der Abb. 107. Man erkennt, daß in 10 cm Tiefe die Streuzusatzstrahlung, welche dem Abstande beider Kurven entspricht, ein Vielfaches der primären Intensität ausmacht.

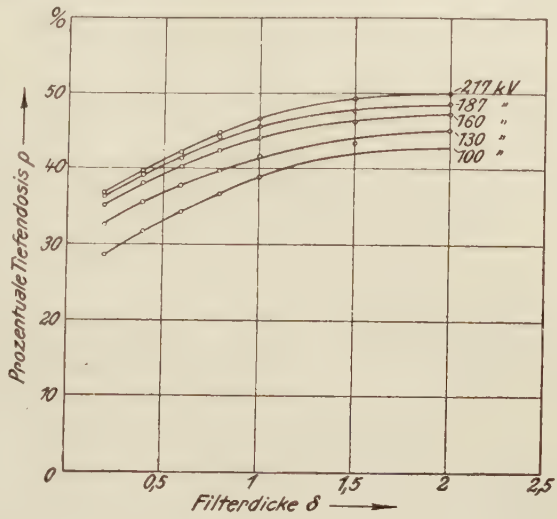


Abb. 111. Die prozentuale Tiefendosis in Abhängigkeit von der Filterdicke nach Großmann. Brennfleckabstand des Wasserspiegels 50 cm. Durchmesser des Einfallsfeldes 20 cm.

Jaeger und Rump führten mit dem Siemens-Röntgen-Dosismesser Untersuchungen mit und ohne Wasserphantom am Zentralstrahl aus. Die Ergebnisse ihrer Untersuchung zeigt Abb. 112 für verschiedene Filterungen. Die Kurven 1, 2, 3 und 4 sind in Luft gemessen und geben das quadratische Abstandsgesetz gut wieder. Ihnen entsprechen in Wasser die Kurven a, b, c und d. Der Unterschied im Verlaufe zwischen Luft- und Wasserkurve zeigt in anschaulicher Weise, wie weit sich die Streuzusatzstrahlung des Wassers nach aufwärts in Luft erstreckt. In einer gewissen Tiefe unter der Wasseroberfläche, die von Strahlung, Filterung, Feldgröße und Abstand abhängt, schneiden sich beide Kurven: hier ist die Dosis in Wasser dieselbe wie in Luft. Schwächung und Streuzusatzstrahlung heben sich hier gerade auf, es ist also

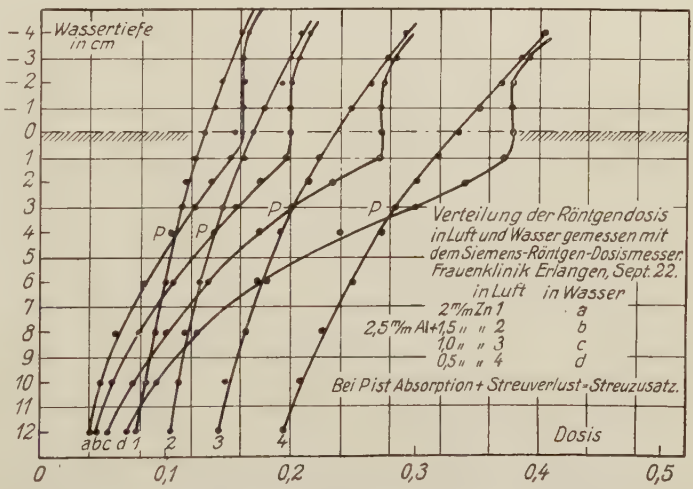


Abb. 112. Ionisation längs des Zentralstrahles in Luft und in Luft und Wasser nach Jaeger und Rump.

Absorption + Streuverlust in Wasser = Streuzusatz.

Den Einfluß der Feldgröße untersuchten sie bei 175 kV, 40 cm Brennfleckabstand und 0,5 mm Zink + 2,5 mm Aluminium. Mit zunehmendem Feld rückt der Punkt, für den die Schwächung gleich dem Streuzusatz wird, tiefer in das Wasser hinein und der Streuzusatz durch das Wasser in der diesem vorgelagerten Luftschicht nimmt zu. Weiterhin ergab sich in Bestätigung von Messungen Großmanns (Abb. 105), daß mit Zunahme der Feldgröße die prozentuale Tiefendosis p einem Grenzwerte zustrebt. Abb. 113 zeigt die von Jaeger und Rump für ein Feld von 17 × 17 qcm gewonnene Streuzusatzdosis absolut und in Prozenten der direkten Strahlung. Hiernach nimmt die absolute Streuzusatzstrahlung, wenn man sich aus der Luft dem Wasser nähert, langsam zu und hat bei einer Wassertiefe von etwa 3 cm ein Maximum, um dann langsam abzuklingen. Diese allmähliche Abnahme ergibt sich aus der Überlegung, daß mit wachsender Tiefe die von den einzelnen Raumelementen zugestrahlte Dosis ihrerseits auch durch Absorption und Streuverlust geschwächt ist, so daß die Zusatzdosis, wenn auch langsam, immer weiter abnehmen muß. Nähert man sich von der Luft her dem Wasser, so steigt der Streuzusatz in Prozenten der direkten Strahlung an. Für das Einfallsfeld von 17 × 17 qcm beträgt er an der Wasseroberfläche 42 % der direkten Strahlung. Innerhalb des Wassers steigt die Kurve steil an, und zwar um so mehr, je größer die Tiefe ist. Daraus geht hervor, daß in größeren Tiefen die Strahlung zum weitaus überwiegenden Teile aus Streustrahlung besteht.

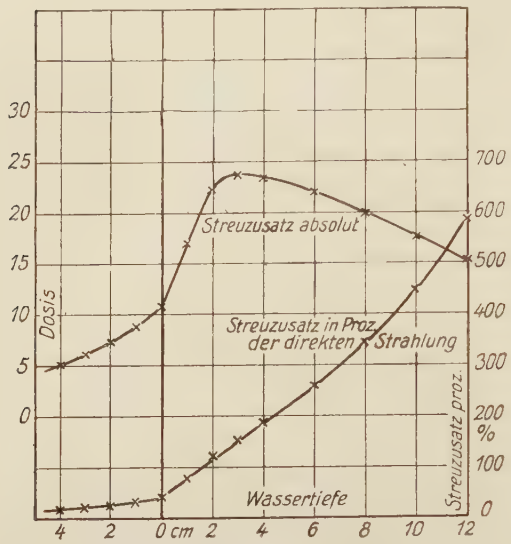


Abb. 113. Streuzusatz absolut und in Prozenten der einfallenden Strahlung nach Jaeger und Rump.

Tabelle 55. Tiefendosen, gemessen mit verschiedenen Instrumentarien.

	10-mm-Al-Filter.				1-mm-Cu-Filter.		
Dosis in cm Tiefe	Rotax (Sanitas)	Intensiv-Reform (Veifa)	Symmetrie (Reiniger)	Dosis in cm Tiefe	Rotax (Sanitas)	Intensiv-Reform (Veifa)	Symmetrie (Reiniger)
Feldgröße 8 · 8 cm, F.H. = 35 cm							
0	100	100	100	0	100	100	100
5	50.8	50,1	50,2	5	51,4	52,0	52,3
10	20,9	19,6	20,2	10	23,0	22,8	22,7
Feldgröße 20 · 20 cm, F.H. = 30 cm							
0	100	100	100	0	100	100	100
5	57,8	57,4	57,2	5	66,5	64,8	67,2
10	26,1	26,2	26,3	10	33,6	34,9	34,0
Feldgröße 20 · 20 cm, F.H. = 50 cm							
0	100	100	100	0	100	100	100
5	59,8	60,0	60,0	5	73,8	74,1	73,5
10	31,2	31,8	30,6	10	41,4	40,6	41,0

f) Der Einfluß der Röntgenmaschine auf den Dosenquotienten.

Diesen untersuchten Friedrich und Körner. Entsprechende Betriebsbedingungen vorausgesetzt, entsprechen die Messungen am Intensivreformapparat mit Coolidge-Röhre sowie am Symmetrieapparat mit Müller-Siederöhre den am Sanitasinduktor mit Coolidge-Röhre ermittelten so vollkommen, daß jeder Einwand über einen verschiedenen Verlauf der Dosenkurven hinfällig ist, wie Tabelle 55 zeigt.

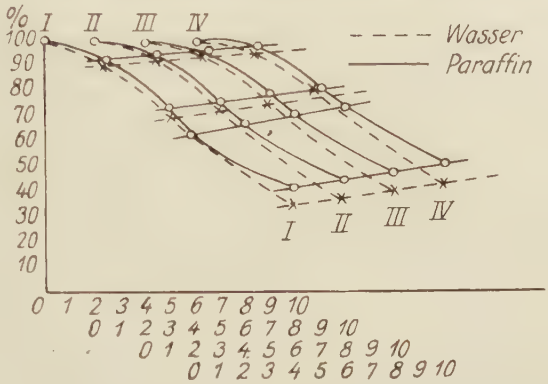


Abb. 114. Der Dosenquotient in Wasser und Paraffin nach Saupe.

I. 30 cm Brennfleck-Oberflächenabstand
II. 40 „ „ „
III. 50 „ „ „
IV. 80 „ „ „

180 kV, 4 m A, 0,8 mm Kupfer + 3 mm Aluminium. Feld: 15 × 15 qcm.

g) Der Einfluß des Mediums auf den Dosenquotienten.

Die Tiefendosis wird im wesentlichen durch den Streukoeffizienten bestimmt. Nach Tabelle 6 ist nun der Streukoeffizient pro Masseneinheit für alle leichtatomigen Substanzen fast derselbe: der Streukoeffizient verschiedener Medien verhält sich daher nahezu wie deren Dichten. Aus diesem Grunde ist zu erwarten, daß sich für die prozentuale Tiefendosis in Medien verschiedener Dichte verschiedene Werte ergeben werden. Saupe untersuchte den Verlauf des Dosenquotienten für dasselbe Strahlengemisch in Wasser und Paraffin von 54° C. Schmelzpunkt. Seine in Abb. 114 mitgeteilten Ergebnisse lehren, daß bei seinen Versuchsbedingungen am Paraffinphantom im Mittel um etwa 7 Einheiten höhere Werte für die prozentuale Tiefendosis gemessen werden als am Wasserphantom. Für einen Fokushautabstand von 30 cm macht das in 10 cm Tiefe einen Dosisunterschied von 20 % aus.

Tabelle 56. Einfluß des F.H.A. auf die Applikationszeit einer bestimmten Dosis bei verschiedenen Einfallsfeldern.

	F.H.A. 30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm
Mit dem quadratischen Gesetz berechnete Werte	100	136	177,5	255,3	278,0
Gemessene Werte bei 10-mm-Al-Filter					
Feldgröße 2×2 cm	100	142,2	188,2	249,2	309,4
„ 8×8 „	100	136,2	178,0	236,0	287,3
„ 14×14 „	100	139,5	186,7	255,8	329,0
„ 20×20 „	100	143,0	182,2	230,0	289,9
Gemessene Werte bei 1-mm-Cu-Filter					
Feldgröße 2×2 cm	100	140,6	188,1	242,0	309,0
„ 8×8 „	100	138,2	189,0	227,3	295,0
„ 14×14 „	100	135,2	173,2	226,6	294,0
„ 20×20 „	100	133,9	175,9	240,0	291,5

Hieraus folgt, daß zwischen den am Wasser und an anderen Medien gemessenen prozentualen Tiefendosen beträchtliche Unterschiede bestehen können. Die prozentuale Tiefendosis ist daher nur unter Angabe des Mediums, in dem sie gewonnen wurde, eindeutig festlegbar.

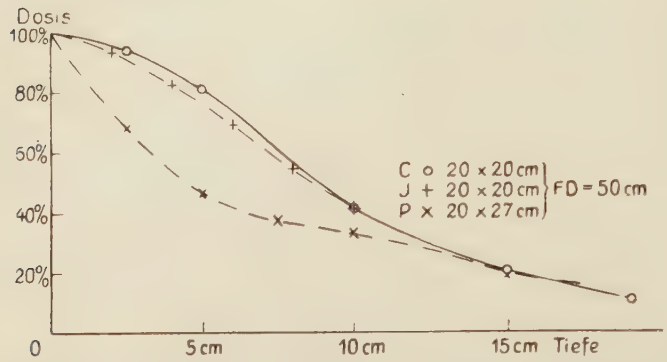


Abb. 115. Vergleich der von Friedrich und Körner, Glocker, Rothacker und Schönleber sowie von Dessauer und Vierheller bestimmten Kurven für die Tiefendosis.

C: Photographische Werte von Glocker, Rothacker und Schönleber.
P: Photographische Werte von Dessauer und Vierheller.
J: Iontometrische Werte von Friedrich und Körner.

4. Das quadratische Abstandsgesetz bei der Oberflächendosis.

Von großer praktischer Bedeutung ist die Frage, ob das quadratische Abstandsgesetz auch für die Oberflächendosis gilt, d. h. auch dann, wenn die Ionisationskammer vor einem stark streuenden Körper steht. Da, wie wir sahen, die Streuzusatzstrahlung desselben in dem Luftraum weit vor der Oberfläche wirkt, so ist das nicht von vornherein anzunehmen. Friedrich und Körner haben diese Frage zuerst experimentell mit der oben beschriebenen Anordnung (Abb. 103) untersucht. Die obere Begrenzungsfläche der Ionisationskammer aus Aluminium schnitt hierbei immer mit der Wasseroberfläche ab. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 56. Die Unterschiede der gefundenen Werte für verschiedene Feldgrößen und Strahlenwerte von den errechneten sind nach Friedrich und Körner zu gering, als daß man daraus Abweichungen vom quadratischen Gesetz folgern dürfte. Großmann fand dieses Gesetz annähernd bestätigt.

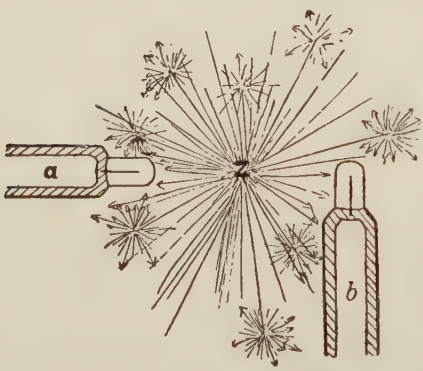


Abb. 116. Die Schlagschattenwirkung des Meßkammerträgers nach Holfelder, Bornhauser und Yaloussis.

5. Faktoren, welche die Genauigkeit der Messung beeinflussen.

a) Die Eintauchtiefe der Fingerhutkammer an der Wasseroberfläche.

Nach den Angaben von Großmann erhält man verschiedene Werte für die prozentuale Tiefendosis, je nachdem, ob man an der Wasseroberfläche die Mittelebene der Kammer in den Wasserspiegel verlegt oder die Kammer vollständig eintauchen läßt. Mit völlig eingetauchter Kammer arbeiteten beispielsweise Friedrich und Körner, sowie Martius. Großmann verlegte die Mittelebene der Kammer in den Wasserspiegel, und Jaeger und Rump näherten sich mit der Kammer von der Luft her im Zentralstrahl der Wasseroberfläche und maßen auf diese Weise die Ionisation von mehreren Zentimetern außerhalb des Wasserspiegels bis zu 12 cm unter demselben. Aus ihren Messungen

(Abb. 112) geht demgegenüber hervor, daß die Ionisation in einem Bereich von mehreren Zentimetern außerhalb des Wasserspiegels bis zu etwa 1 cm unterhalb desselben, gemessen mit dem Siemens-Röntgen-Dosismesser, konstant bleibt. Hieraus folgt, daß es zum wenigsten für die kleine graphitierte Hornkammer dieses Geräts belanglos ist, ob man die Oberflächendosis unmittelbar oberhalb oder unterhalb des Wasserspiegels mißt. Zu demselben Ergebnis gelangten Holfelder, Bornhauser und Yaloussis. Für die Richtigkeit dieser Beobachtung spricht der Umstand, daß zum wenigsten ein Teil der Kurven von Friedrich und Körner die Wasseroberfläche ebenfalls nahezu rechtwinklig durchsetzt, und daß sich die Kurven, welche Glocker, Rothacker und Schönleber nach einem photographischen Verfahren erhielten, ausgezeichnet mit denen von Friedrich und Körner decken (Abb. 115), im Gegensatz zu den nach einem anderen photographischen Verfahren gewonnenen Kurven Dessauers. Nach einer freundlichen Mitteilung des Herrn Glocker ließen er und seine Mitarbeiter dabei das das photographische Reagens enthaltende Kölbchen zur Messung der Oberflächendosis bis zu seiner Mittelebene in den Wasserspiegel eintauchen.

b) Die Abschirmung der Streustrahlung durch den Meßkammerträger

wurde von Holfelder, Bornhauser und Yaloussis untersucht. Auf dem Horizontalschnitt eines Strahlenkegels sei bei z ein Streustrahlenzentrum angenommen (Abb. 116). Die Meßkammer in der Lage a wird stärkere Ionisation anzeigen als die Meßkammer in der Lage b, da die letztere von einem stärkeren Schattenhof umlagert werden muß, so daß hier ein Ausfall der von der sekundären Streustrahlung ausgelösten tertiären Streustrahlung eintritt. Der Meßkammerträger von a schirmt nur Strahlen aus der Richtung des Energieminimums ab, erzeugt also nur einen relativ geringen Schattenhof.

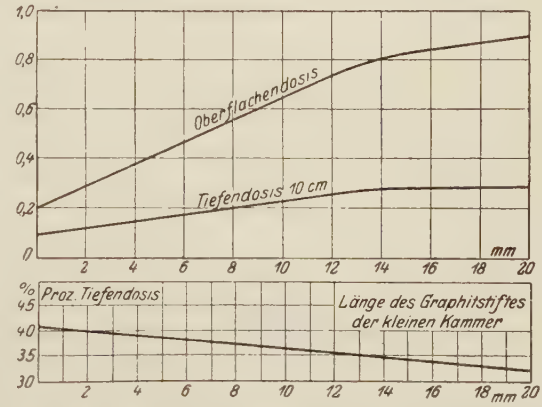


Abb. 117. Einfluß der Stiftlänge bei der Fingerhutkammer auf die Messung der Oberflächendosis, der Tiefendosis und der prozentualen Tiefendosis nach Jaeger und Halberstaedter.

Um sich ein Bild über die Größenordnung dieser Fehlerquellen zu verschaffen, stellten Holfelder und seine Mitarbeiter ein genaues Modell des Meßkammerträgers ohne Meßkammer von der anderen Seite her der Meßkammer gegenüber. Vergleichsmessungen mit und ohne dieses Hilfsmodell ergaben, daß je nach der Größe des Einfallfeldes der Schattenhof des Meßkammerträgers bei Oberflächenmessungen zwischen 2 und 6% und bei Messungen in 10 cm Tiefe zwischen 4 und 12% der an der Meßstelle vorhandenen Strahlung abschirmt. Die hierdurch bedingten Fehlerquellen können also ungünstigenfalls etwa 10% der Meßergebnisse innerhalb des direkten Strahlenkegels erreichen. Für die gewöhnliche Bestimmung der prozentualen Tiefendosis fanden Holfelder und seine Mitarbeiter, daß der Siemens-Röntgen-Dosismesser bei einem Einfallsfelde von 6 × 8 qcm die prozentuale Tiefendosis durchschnittlich um 1—2 Prozentzahlen zu gering mißt, während bei einem größeren Hautfelde von 9 × 9 qcm diese Differenz durchschnittlich 2—3 Zahlen betragen und bei einem noch größeren Hautfelde von 10 × 15 qcm diese Differenz zwischen 2 und 4 Zahlen liegen kann. Um diese Zahlenwerte wäre die gemessene prozentuale Tiefendosis zu erhöhen.

c) Die Kammergestalt.

Wie wir schon im XIV. Kapitel erwähnten, fanden Glocker, Rothacker und Schönleber, daß eine kleine Ionisationskammer der üblichen Form eine ausgesprochene Abhängigkeit von der Richtung der ankommenden Röntgenstrahlen zeigte; bei Bestrahlung in Richtung ihrer Längsachse war die Ionisation 2—3mal so groß als in Richtung senkrecht hierzu. Diese Beobachtung wurde von anderer Seite bestätigt, während die von Friedrich und Körner benutzte Ionisationskammer diesen Richtungseffekt nicht aufwies. Um den Einfluß der Kammergestalt auszuschalten, bediente sich Großmann kugelförmiger Ionisationskammern von 2 cm Durchmesser aus 1 mm dickem, innen graphitiertem Elfenbein.

d) Die Kammergröße.

Da die Tiefendosis von Punkt zu Punkt verschieden ist, so müßte man sich, um dieselbe in einem Raumpunkte zu erfassen, eines unendlich kleinen Meßkörpers bedienen können. Da jedoch unser Meßkörper, die Ionisationskammer, endliche Abmessungen hat, so können wir mit ihr nicht die Dosis in einem Punkte, sondern nur die mittlere Dosis in einem Volumenelement messen, das im Vergleich zum ganzen Bestrahlungsraume keineswegs verschwindend kleine Abmessungen aufweist. Daher können die gemessenen Werte auch nicht als genaue Relativwerte der wahren Oberflächendosis und als wahre Werte der prozentualen Tiefendosis angenommen werden. Der Einfluß der Kammergröße auf das Meßergebnis ist nach Großmann bei Bestimmung der Oberflächendosis lange nicht so groß wie bei der der absoluten und der prozentualen Tiefendosis. Er gibt an, daß bei Benutzung von zylindrischen Kammern von bloß 1 cm Durchmesser kleinere Werte der prozentualen Tiefendosis gewonnen wurden. Aus diesen Gründen stellten Glocker und seine Mitarbeiter neben die eben erwähnte Grundforderung der Richtungsunabhängigkeit des Meßgerätes noch die zweite „der möglichst kleinen Raumerfüllung". Die aus diesem Grunde von Großmann angestrebte kugelförmige Ionisationskammer von nur 1 cm Durchmesser ließ leider keine genügende Meßgenauigkeit erzielen, so daß sich Großmann mit solchen von 2 cm Durchmesser begnügen mußte. Nach seinen Angaben dürften daher die von ihm gemessenen Werte der prozentualen Tiefendosis zu hoch sein.

e) Die Länge des Kammerstiftes.

Nach Untersuchungen von Jaeger und Halberstaedter (Abb. 117) sinkt das Meßergebnis für die prozentuale Tiefendosis desselben Strahlengemisches von 41 auf 34%, wenn man bei gleicher Hülle der Fingerhutkammer allein die Länge des Kammerstiftes von 0 bis 20 mm erhöht, d. h. pro Millimeter Längenzunahme des Stiftes vermindert sich das Ergebnis für die prozentuale Tiefendosis um 1,3%. Durch Röntgenaufnahmen läßt sich leicht kontrollieren, ob sich die Länge des Stiftes, etwa durch Stoß, geändert hat.

f) Das Kammermaterial.

Jaeger und Rump sowie Großmann bedienten sich innen graphitierter Hornkammern, Martius sowie Friedrich und Körner kleiner Aluminiumkammern. Die letzteren betonen, daß für die gefilterten Strahlungen der Tiefentherapie das Kammermaterial nur von untergeordneter Bedeutung sei. Ein Vergleich der Messungen verschiedener Autoren kann hier schwerlich eine Entscheidung bringen, da die Versuchbedingungen nicht leicht zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

6. Die Verteilung der Röntgendosis auf die einzelnen Punkte des Mediums oder Wasserphantoms.

Wie wir oben sahen, ist die Dosis auf dem Zentralstrahl stets am größten und nimmt nach dem Rande des Strahlenkegels hin ab. Infolge der Streustrahlung aus dem Strahlenkegel in das benachbarte Gewebe wird auch dieses vom Primärstrahl nicht Getroffene eine gewisse Dosis erhalten. Will man sich über die Verteilung der Dosis auf die verschiedenen Raumpunkte unterrichten, so bleibt nichts übrig, als dieselbe für verschiedene mögliche Bedingungen, wie z. B. die Härte der Strahlung, die Größe des Einfallfeldes und den Brennfleckabstand, von Fall zu Fall und von Punkt zu Punkt auszumessen.

a) Die Darstellung der Meßergebnisse

kann vorzugsweise auf zwei verschiedene Arten erfolgen. In beiden Fällen legt man eine Ebene durch den Zentralstrahl. Bei einem runden Einfallsfeld kann es eine beliebige sein. Bei einem rechteckigen Einfallsfeld wird man sie so wählen, daß sie entweder parallel der großen oder der kleinen Kante oder in der Diagonale des Rechtecks verläuft. In dieser Ebene stellt man, vom Zentralstrahl ausgehend, die gemessene Ionisation dar. Die erste Darstellungsweise wählten Krönig und Friedrich. Sie trugen die in einer bestimmten Tiefe gemessenen Ionisationen als Ordinaten, den Abstand der Punkte vom Zentralstrahl als Abszissen auf und erhielten so Kurven wie die der Abb. 118. Die andere Methode, die der Isodosenkurven, brachten Holfelder, Bornhauser und Yaloussis zur Anwendung. Sie zeichneten in die oben genannte Zentralstrahlebene alle Punkte ein, in denen sie eine Messung vorgenommen hatten, und bezifferten jeden Punkt mit dem Werte der in ihm gemessenen Ionisation, wobei sie die Ionisation an der Oberfläche mit 100 bezeichneten. Durch Interpolation zwischen den Beobachtungspunkten ließen sich solche Punkte finden, die die gleiche Dosis erhalten hatten, und durch Verbindung dieser Punkte miteinander ergaben sich die Isodosenkurven (Abb. 119 und 122).

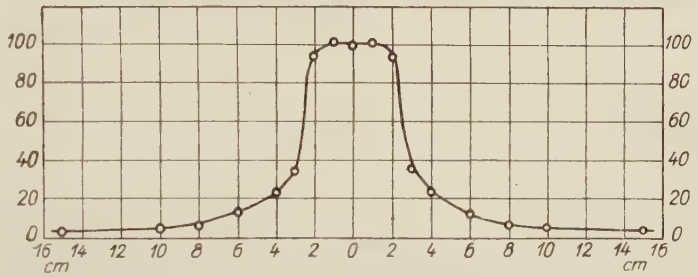


Abb. 118. Ionisation in bestimmter Wassertiefe für verschiedene Abstände vom Zentralstrahl nach Krönig und Friedrich.

b) Entstellender Einfluß der Kammergröße am Rande des Primärstrahlkegels.

Holfelder und seine Mitarbeiter haben als erste den entstellenden Einfluß der Kammergröße auf die Messung in der Nähe der Begrenzung des Primärstrahlbündels erkannt und ihn in außerordentlich sorgfältiger Weise eliminiert. Den schroffen Übergang aus dem starken Primärstrahlbündel, dem „Strahlungslicht", zu der geringen Strahlungsintensität, dem „Strahlungsschatten", muß die Meßkammer in einem ganz bestimmten Bezirk verschleiern, welcher genau ihrer Größe entspricht. Da die Kammer nicht mit einem Punkt, sondern mit ihrem ganzen Rauminhalt die Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen erfaßt, so wird sich bei jenem Übergang immer noch ein Teil der Kammer im Strahlenlicht befinden, während ein anderer Teil bereits im Strahlenschatten liegt. Holfelder und seine Mitarbeiter haben diesen Verschleierungseinfluß gemessen, indem

sie eine Fingerhutkammer in Luft allmählich unter einen Bleischirm zurückzogen, welcher ein Strahlenbündel einseitig scharf begrenzte, wie dies in Abb. 120b dargestellt ist. Statt des in Wirklichkeit vorhandenen, schroffen Intensitätsabfalls an der Grenze

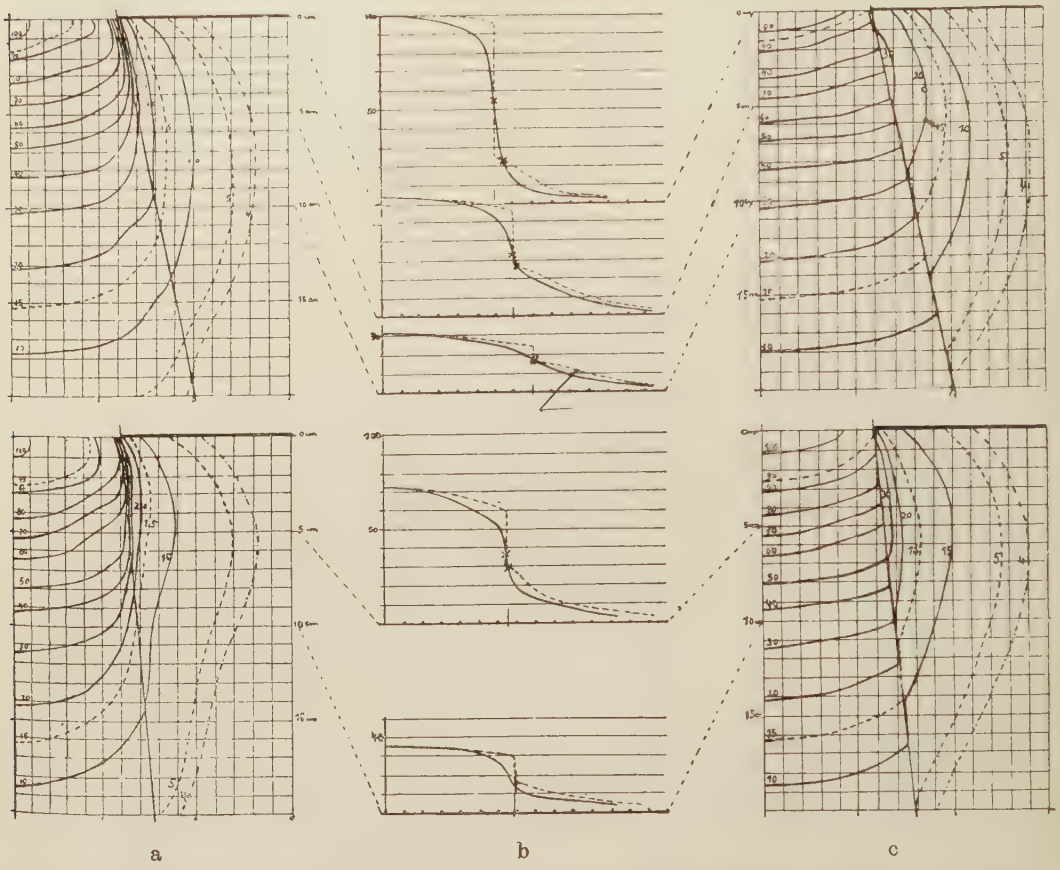


Abb. 119. Isodosenkurven von Holfelder, Bornhauser und Yaloussis. Rundes Einfallsfeld, 12 cm Durchmesser. Blende auf Wasser aufliegend. Extrem harte Strahlung. Parallelfunkenstrecke 45 cm. Kupferfilter 0,5 mm.

Oben: Fokuswasserabstand 30 cm.
Unten: Fokuswasserabstand 70 cm.

a) Direkte Auswertung der gemessenen Zahlen in Form von Isodosenkurven.
b) ——— direkt gemessene Intensitäten in 0,5 und 10 cm Tiefe.
— — — tatsächliche Intensitätskurven, rechnerisch gewonnen durch Ausschalten des infolge der endlichen Meßkammergröße bedingten Fehlers.
c) Wahre Isodosenkurven, gewonnen mit Hilfe von b aus a. Man beachte den scharf am Randstrahl begrenzten Strahlenkegel und den verhältnismäßig sehr schwachen Streustrahlenmantel.

des Bündels, wie ihn die ausgezogene dicke Kurve der Abb. 120a darstellt, erhielten sie die dünn ausgezogene Kurve, deren mit römischen Ziffern bezeichnete Werte den Kammerstellungen der Abb. 120b entsprechen. Bei einem anderen Versuch wurden die Isodosenkurven eines scharf ausgeblendeten Strahlenbündels in Luft gemessen. Wäre keine Verschleierungswirkung der Kammer vorhanden, so wäre ein Isodosenbild zu er-

warten, wie es die linke Hälfte der Abb. 120c darstellt. Tatsächlich lieferte die Messung die in der rechten Hälfte der Abb. 114c wiedergegebenen Isodosenkurven.

In welcher Weise die Berücksichtigung der Kammergröße die am Wasserphantom gemessenen Isodosenkurven beeinflußt, möge als typisches Beispiel die Abb. 119 dartun. Holfelder und seine Mitarbeiter blendeten durch eine dem Wasser aufliegende runde Blende von 12 cm Durchmesser einen Strahlenkegel aus. Als Spannungsquelle diente der Symmetrieapparat Modell 1919, als Röhre eine A.E.G.-Glühkathodenröhre mit Wolframantikathode, der Röhrenstrom betrug 3 Milliampere, die Parallelfunkenstrecke 45 cm zwischen Spitze und Platte und 12 cm zwischen Kugeln von 12 cm Durchmesser. Die oberen drei Figuren der Abb. 113 gelten für einen Fokuswasserabstand von 30 cm, die unteren für einen solchen von 70 cm. In beiden Fällen stellen die Kurven a die direkte Auswertung der gemessenen Zahlen in Form von Isodosenkurven dar. Die Kurven b zeigen für 0, 5 und 10 cm Tiefe den Einfluß der endlichen Kammergröße: die ausgezogenen Kurven entsprechen den direkt gemessenen Intensitäten, während die gestrichelten Linien die tatsächlichen Intensitätskurven darstellen, die durch Ausschaltung des durch die endliche Größe der Meßkammer bedingten Meßfehlers in der oben geschilderten Weise gewonnen wurden. Hieraus ergibt sich das tatsächliche Isodosenkurvenbild c. Der Randstrahl selbst ist hiernach bis in größte Tiefen hinein völlig scharf erhalten, und die Strahlenenergie bricht an der Grenze des Strahlenbündels plötzlich zusammen. Nur ein dünner Streustrahlenmantel von ganz geringen Energiewerten umlagert den Strahlenkegel.

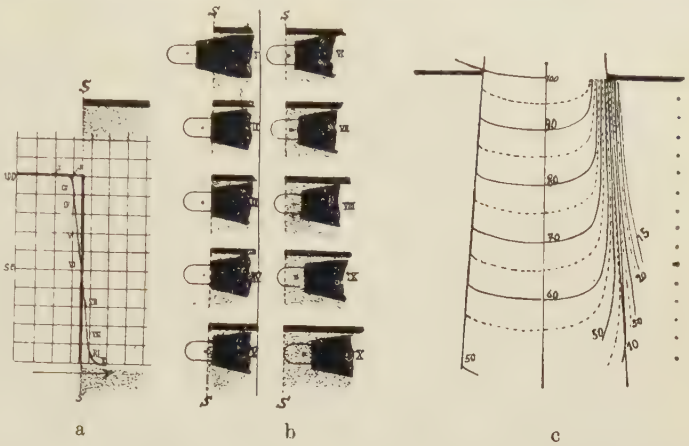
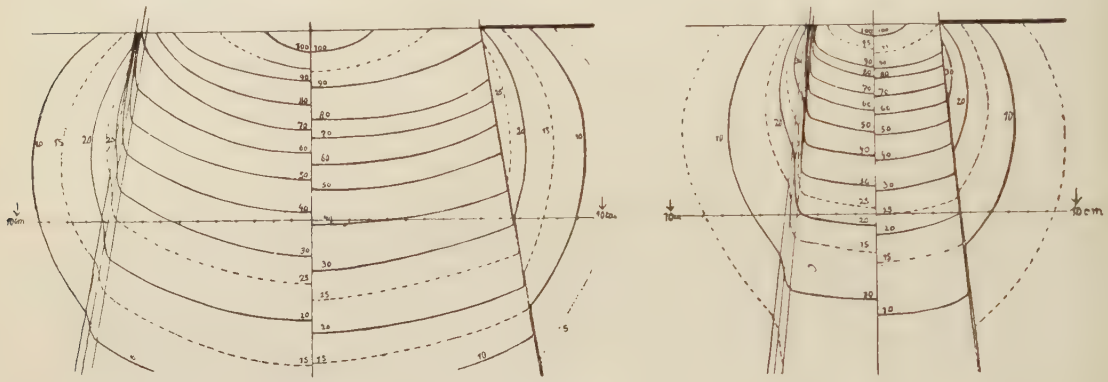


Abb. 120. Einfluß der endlichen Kammergröße auf die Schärfe der Randstrahlmessung nach Holfelder, Bornhauser und Yaloussis.

Abb. 121. Photographische Aufnahme des Röntgenstrahlbündels im Wasserphantom von Gottlieb.

Die Frage nach der scharfen Begrenzung des Strahlenkegels ist von großer Bedeutung für die Bestrahlungstechnik nach der Mehrfeldermethode. Da die Ergebnisse von Holfelder und seinen Mitarbeitern auf dem Umwege über eine Korrekturrechnung gewonnen wurden, so ist es von besonderem Interesse, daß Gottlieb auf einem völlig

anderen Wege zu genau denselben Ergebnissen gelangte. Gottlieb brachte doppelt gegossene Schleußner-Neofilme in das Wasserphantom, so daß diese mit der Zentralstrahlebene zusammen fielen, in welcher Holfelder und seine Mitarbeiter ihre Isodosenkurven darstellten. Abb. 121 zeigt einen solchen Film nach seiner Belichtung und Entwicklung in ein Drittel natürlicher Größe. Der Strahlenkegel einer harten, schwer gefilterten Strahlung wurde aus 70 cm Brennfleckabstand mit wassernaher, kreisrunder Blende von 6 cm Durchmesser aufgenommen. Die Schärfe der Randstrahlung beweist die Richtigkeit der Untersuchungen von Holfelder und seinen Mitarbeitern. Diese haben weiterhin die Schwärzung einer ganzen Reihe Gottliebscher Filme in Form von Isodosenkurven ausgewertet und gefunden, daß sich diese wieder in exaktester Form mit den von ihnen mit Hilfe des Siemens-Röntgen-Dosismessers aufgenommenen und der Korrekturrechnung unterworfenen Werten decken.



a b

Abb. 122. Einfluß der Blendenstellung auf den Verlauf der Isodosenkurven nach Holfelder, Bornhauser und Yaloussis.

Fokuswasserabstand 50 cm.

Linke Hälfte jeder Kurvenschar: Blende 25 cm über der Wasseroberfläche. Rechte Hälfte jeder Kurvenschar: direkt auf der Wasseroberfläche.

a) Durchmesser des runden Einfallsfeldes 18 cm.

b) Durchmesser des runden Einfallsfeldes 6,9 cm.

Abgesehen von geringerer Tiefenwirkung bei wasserferner Blende unterscheiden sich die Isodosenkurven nur in dem schmalen Halbschattenbereich rechts und links vom Randstrahl. Der übrige Verlauf der Isodosenkurven folgt in typischer Weise den von Holfelder, Bornhauser und Yaloussis ermittelten Gesetzen.

c) Einfluß der Blendennähe auf die Begrenzungsschärfe des Primärstrahlkegels.

Holfelder und seine Mitarbeiter haben weiterhin den Einfluß untersucht, den der Abstand der Blende von der Wasseroberfläche auf die von ihnen gefundene Schärfe der Randstrahlung ausübt. Abb. 122 gibt zwei kreisrunde Strahlenbündel für einen Brennfleckabstand der Wasseroberfläche von 50 cm, und zwar Abb. a für ein Einfallfeld von 18 cm, Abb. b für ein solches von 6,9 cm Durchmesser. In beiden Abb. a und b gilt die linke Hälfte für eine entfernte Blende von 25 cm Abstand vom Wasserspiegel, die rechte Hälfte für die ihm direkt aufliegende Blende, und zwar nach Vornahme der Korrektur wegen der endlichen Kammergröße. Abgesehen davon, daß bei wasserferner Blende eine etwas geringere Tiefenwirkung erzielt wird, ist der Verlauf der Isodosenkurven nur unterschiedlich in dem schmalen Halbschattenbereich rechts und links vom

Randstrahl, welcher rein geometrisch in der Größe des Brennflecks seine Erklärung findet. Im Interesse der isolierten Durchstrahlung eines Krankheitsherdes unter weitgehender Schonung der Nachbarschaft sowie auch im Interesse der Erzielung größtmöglicher Tiefenwirkung empfiehlt es sich daher, die Blende direkt auf der Haut des Patienten anzubringen. Strebt man demgegenüber in besonderen Fällen einen allmählichen Übergang der Intensität nach der Seite zu an, so muß man die Entfernung zwischen Blende und Haut mindestens dreimal so groß wählen als die Entfernung zwischen Blende und Brennfleck, da sonst der Halbschattenbezirk für den beabsichtigten Zweck nicht weit genug ausfällt.

7. Folgerungen für die Praxis.

Die Isodosenkurven von Holfelder und seinen Mitarbeitern zeigen am Zentralstrahl in Übereinstimmung mit den Messungen von Jaeger und Rump, daß die Intensität in den ersten Zentimetern unter der Oberfläche fast konstant bleibt; erst von da ab erfolgt der steilste Abfall bis zu 12–14 cm Tiefe, um sich dann allmählich wieder abzuflachen. Hieraus ziehen Holfelder und seine Mitarbeiter zwei für die Praxis besonders wichtige Folgerungen:

a) „Die Tiefendosis in 10 cm Tiefe liegt annähernd am Ende, aber noch innerhalb des Steilabfalls der Intensitätskurve. Verschiedenheiten im Verlauf der Intensitätskurve müssen sich deshalb besonders stark auf die Tiefendosis in 10 cm Tiefe auswirken. Der von Seitz und Wintz geprägte Begriff der prozentualen Tiefendosis, welcher das Verhältnis der Tiefendosis in 10 cm Tiefe zur Oberflächendosis festlegt, bildet also eine besonders glückliche Formel zur Kennzeichnung der Tiefenwirkung eines Strahlenkegels."

b) „Alle jene Methoden, welche einen oberflächlich liegenden Tumor mit Überdeckungsschichten von 3—6 cm Dicke bepacken, in der Absicht, den Tumor durch Tieflagerung in einen Teil des Strahlenkegels zu verlegen, der einen flacheren Intensitätsabfall zeigt, gehen von einer irrigen Vorstellung aus und bewirken das Gegenteil von dem beabsichtigten Zweck. Der flachste Intensitätsabfall liegt dicht an der Oberfläche des Strahlenkegels. Ihn homogen zu gestalten, haben wir wirksamere Mittel als den Umbau mit Überdeckungsschichten. Der Umbau mit Überdeckungsschichten (Radioplastin – Jüngling, Paraffin, Bolussäckchen, wassergefüllte Gummikissen usw.) ist nur da indiziert, wo es sich um den Ausgleich von Unebenheiten der Körperfläche handelt."

Glocker, Rothacker und Schönleber kommen auf Grund ihrer Untersuchungen der Tiefendosis im Wasserphantom nach ihrer photographischen Methode, deren Ergebnisse ausgezeichnet mit denen von Friedrich und Körner übereinstimmen (Abb. 115), ebenfalls zu dem Ergebnis, daß dem Verfahren künstlicher Überdeckungsschichten seine theoretische Grundlage entzogen worden sei.

c) Da nach den Messungen von Jaeger und Rump mit dem Siemens-Röntgen-Dosismesser die Dosis am Zentralstrahl von einigen Zentimetern außerhalb der Wasseroberfläche bis zu einem Stück in diese hinein konstant bleibt, so folgt hieraus, daß es, zum wenigsten bei Messungen mit diesem Gerät, gleichgültig ist, ob man die Fingerhutkammer über die Wasseroberfläche, zur Hälfte in diese oder unter dieselbe bringt, wenn man nur die Tiefe, für die man den Dosenquotienten bestimmt, ebenso wie den Brennfleckabstand, vom Wasserspiegel an rechnet. Dasselbe gilt für die Bestimmung der Oberflächendosis am Wasserphantom wie am Patienten. Man darf also ruhig die Fingerhutkammer in der Mitte des Feldes auf die Haut auflegen und die gemessene Dosis als Oberflächendosis ansehen.

Will man die Messung auch während der Bestrahlung durchführen, so wird man im allgemeinen genötigt sein, die Fingerhutkammer an den Rand des Bestrahlungsfeldes zu bringen, um eine Schattenwirkung durch den Kammerträger auszuschließen. Man wird sich deshalb durch eine besondere Messung davon zu überzeugen haben, um wieviel sich die in der Mitte und die am Rande des Feldes gemessene Dosis voneinander unterscheiden, und die Differenz berücksichtigen müssen. Besondere Aufmerksamkeit hat man darauf zu richten, daß die Fingerhutkammer ganz vom Primärstrahlbündel erfaßt wird, da eine teilweise Beschattung derselben naturgemäß zu großen Dosisfehlern führen kann.

Eine gute optische Darstellung der Röntgenstrahlenverteilung innerhalb des menschlichen Körpers vermittelt der Fehlerwähler von Holfelder; dieses Instrument gestattet die Auswertung der durch die Ionisationsmessungen gewonnenen Kenntnisse für die praktische Röntgentherapie in einer ideal beweglichen Weise.

Zwanzigstes Kapitel.

Hergang einer Messung.

Bei unseren bisherigen Betrachtungen war die systematische Anordnung des Stoffes maßgebend. Für den Praktiker dürfte es von Interesse sein, die einzelnen Punkte in derjenigen Reihenfolge aufzuführen, in welcher er sie im Verlaufe der Messung zu beachten hat, unter gleichzeitigem Hinweis auf diejenigen Stellen im Text, an denen sie ausführlich behandelt wurden.

I. Vorbereitungen zur Messung.

1. Anlegen eines Regulierwiderstandes vor die Röntgenmaschine (XI. Kap., 1).
2. Anlegen eines Voltmeters an die Klemmen der Maschine (XI. Kap., 1).
3. Bestimmung des Brennfleckabstandes der Röntgenröhrenwand (XVII. Kap., 1).
4. Prüfung der Stoppuhr (XVII. Kap., 2).
5. Bestimmung der Eigenschwingungsdauer des Geräts (XIII. Kap., I, 1).
6. Prüfung des Geräts auf Isolationsfehler (XIV. Kap., 4).
7. Prüfung des Geräts auf Dielektrikumsfehler (XIV. Kap., 4).
8. Erdung des Geräts (XIV. Kap., 6).
9. Justierung des Geräts (XIV. Kap., 1).
10. Sorge für hinreichenden Bleischutz. Abdecken des Meßkabels mit Blei oder Bleigummi (XIV. Kap., 3). Schwefelisolatoren dürfen nicht von Röntgenstrahlen getroffen werden (XIV. Kap., 3).
11. Bestimmung des Dunkeleffekts (XIV. Kap., 5).
12. Bestimmung des Luftdrucks (I. Kap., 4; VII. Kap., 2 u. 5).
13. Bestimmung der Temperatur (I. Kap., 4; VII. Kap., 2 u. 5).

Für den Gang aller weiteren Messungen hat die Genauigkeit der Beobachtung die Hauptbedeutung (XIII. Kap.).

Durch den Regulierwiderstand ist die Netzspannung genau konstant zu halten (XI. Kap., 1).

II. Sättigungsprüfung (XVI. Kap.).

Bei direkt zeigenden Geräten darf die Sättigung im allgemeinen vorausgesetzt werden (XVI. Kap., I, 1).

Bei ablaufenden Geräten muß im täglichen Gebrauch dafür gesorgt werden, daß

die Ionisation geringer, also die Ablaufzeit länger ist als bei der Sättigungsprüfung, wenn Sättigung vorhanden sein soll (XVI. Kap., I, 1).

Die Sättigungsprüfung gilt solange, als das Gerät unbeschädigt bleibt (XVI. Kap., I, 1).

Methoden der Sättigungsprüfung (XVI. Kap., I, 2).

III. Spannungseichung (XVI. Kap.).

Auf die Konstanz der Spannungsempfindlichkeit kann man sich nicht unbedingt verlassen. Besonders die Temperatur kann von Einfluß sein (z. B. bei Fadenelektrometern) (XVII. Kap., 6).

Methoden der Spannungseichung (XVI. Kap., II, 1—4).

IV. Prüfung auf Konstanz der Empfindlichkeit.

1. Bestimmung des Brennfleckabstandes a (XVII. Kap., 1).
2. Prüfung des Lochquerschnitts q (XVII. Kap., 3).
3. Prüfung der Konstanz der Empfindlichkeit durch ein radioaktives Präparat (XVII. Kap., 9) oder
4. durch Vergleich mit einem anderen Gerät (XVII. Kap., 10) oder
5. durch Vergleich mit dem Eichstandgerät (XVII. Kap., 11).

V. Intensitätsmessung.

Gesondert auszuführen für Ein- und Zweiröhrenbetrieb und für verschiedene Milliamperebelastung (XI. Kap., 2).

Womöglich während der Bestrahlung fortlaufend auszuführen; falls das nicht möglich ist, muß wenigstens ab und zu die Maschine auf Änderung bei Dauerbelastung (XI. Kap., 4) und auf Änderung der Leistungsfähigkeit geprüft werden (XI. Kap., 3).

Zur Prüfung der Röhre auf Änderung der Beschaffenheit der Antikathode ist Intensitätsmessung bisweilen erforderlich (X. Kap., 16).

Die Ergebnisse sind verschieden, je nachdem die Kammer frei steht oder sich unmittelbar vor der Oberfläche eines Phantoms befindet (XIX. Kap., 1).

Das quadratische Abstandsgesetz gilt sowohl für die freie Kammer als für die Oberflächendosis (XIX. Kap., 4).

Bei Bestimmung der Oberflächendosis am Phantom ist es, zum wenigsten sicher beim Siemens-Röntgendosismesser, gleichgültig, ob die Kammer auf, zur Hälfte in oder unmittelbar unter der Phantomoberfläche liegt, wenn man im Zentralstrahl mißt (XIX. Kap., 3, 5 u. 7).

Bei Messung während der Bestrahlung muß man die Kammer wegen des Halterschattens an den Rand des Feldes bringen, aber so, daß sie ganz bestrahlt wird (XIX. Kap., 7). Man hat durch besondere Messung den Unterschied zwischen dem Ergebnis für die Oberflächendosis im Zentralstrahl und am Rande des Feldes zu bestimmen und diesen in Rechnung zu setzen (XIX. Kap., 7).

Luftdruck und Temperatur sind zu berücksichtigen (I. Kap., 7; VII. Kap., 2 u. 5).

VI. Härtemessung (XVIII. Kap.). (Vgl. auch dieses Kapitel, VIII.)

Am genauesten durchführbar nach der Zweielektrometer-Methode. (XIII. Kap., II.)

Filter weg von der Kammer, womöglich im halben Brennfleckabstand anbringen! (XIV. Kap., 2).

Einfluß der Ionisationskammer auf das Ergebnis (VI Kap., 8; XVIII. Kap., 2 u. 3; XIX. Kap., 5.). Zur Charakterisierung eines Strahlengemisches ist die Kammerart von größter Bedeutung.

Daher möglichst Eichung, mindestens Angabe derselben.

Bei Charakterisierung durch Filter dient in der Tiefentherapie Kupfer, in der Diagnostik Aluminium (XVIII. Kap., 5).

Verwendung von Zinkfiltern (XVIII. Kap., 5).

Bei Charakterisierung durch Schwächungskoeffizienten: Filter möglichst dünn (XVIII. Kap., 4).

Charakterisierung durch Halbwertschicht (XVIII. Kap., 3).

Beispiel für Bestimmung der Halbwertschicht in Kupfer (XVIII. Kap., 5).

Bestimmung des Heterogenitätsfaktors nach Christen (XVIII. Kap., 6).

Charakterisierung durch prozentuale Tiefendosis (XVIII. Kap., 7. und XIX. Kap.).

VII. Tiefendosis (XIX. Kap.).

Die Tiefendosis ist abhängig von und deshalb besonders zu bestimmen für:

Strahlengemische verschiedener Härte (XIX. Kap., 3 d);

Verschiedene Fokushautabstände (XIX. Kap., 3 c);

Verschiedene Einfallsfelder (XIX. Kap., 3 b);

Verschiedenes Phantommaterial wie Wasser oder Paraffin. Letzteres liefert höhere Werte der prozentualen Tiefendosis (XIX. Kap., 3 g);

Verschiedene Fingerhutkammern (XIX. Kap., 5).

Am genauesten durchführbar nach der Zweielektrometer-Methode (XIX. Kap., 2).

Prüfung der Kammer auf Richtungsabhängigkeit (XIX. Kap., 5 c).

Berücksichtigung der Abschirmung durch Meßkammerträger (XIX. Kap., 5 b).

Die Messung erfolgt für den Zentralstrahl (XIX. Kap., 3 a).

Die prozentuale Tiefendosis ist das Verhältnis der Ionisation in 10 cm Tiefe zur Ionisation an der Oberfläche (XIX. Kap., 1).

Es ist, zum wenigsten für den Siemens-Röntgen-Dosismesser, gleichgültig, ob die Kammer in der oberen Stellung auf, zur Hälfte in oder unmittelbar unter der Phantomoberfläche liegt, wenn man im Zentralstrahl mißt, und wenn der Mittelpunkt der Kammer in der unteren Stellung 10 cm Abstand von der Phantomoberfläche hat (XIX. Kap., 3 e, 5 a u. 7).

Für Ausmessung der einzelnen Punkte in der Tiefe beachte man:

Bei Randstrahlmessung muß der Fehler durch die endliche Kammergröße eliminiert werden (XIX. Kap., 6 b).

Die Blende muß unmittelbar auf dem Phantom und dem Patienten aufliegen (XIX. Kap., 6 c).

Beabsichtigte Ausnahmen (XIX. Kap., 6 c).

Überdeckungsschichten sind nur zum Ausgleich von Körperunebenheiten anzuwenden (XIX. Kap., 7).

VIII. Angabe der Dosis in „R“ (IX. Kap.). (Vgl. auch dieses Kapitel, VI.)

Die Angabe erfolgt entsprechend der Eichtabelle.

Gleichzeitig muß die Härte des Strahlengemisches mitgeteilt werden, und zwar entweder durch

Angabe der prozentualen Tiefendosis,
Angabe des Fokushautabstandes,
Angabe des Einfallsfeldes,
Angabe des Phantommaterials,
Angabe der Art der Fingerhutkammer
} (XIX. Kap.)

oder durch

Angabe der Halbwertschicht in Kupfer, die dem verwendeten Reststrahlengemisch zukommt, (XVIII. Kap., 3), sowie

Angabe des Meßgeräts

oder durch

Angabe des Schwächungskoeffizienten μ in Kupfer, der dem verwendeten Reststrahlengemisch zukommt (XVIII. Kap., 4), sowie

Angabe des Meßgeräts.

Für in der Praxis gebräuchliche Strahlengemische wählt man oft die prozentuale Tiefendosis; für homogenere, stärker gefilterte wird man die Halbwertschicht oder den Schwächungskoeffizienten in Kupfer bestimmen (XVIII. Kap., 7). Für genaue Bestimmung des Homogenitätsgrades dient der Heterogenitätsfaktor nach Christen (XVIII. Kap., 6).

Einundzwanzigstes Kapitel.

Die Stellung der Ionisationsmethode zu anderen Dosimeterverfahren.

Es ist von Wichtigkeit, die Stellung der Ionisationsmethode zu anderen Dosimeterverfahren zu kennen, und zwar sowohl bezüglich ihrer Genauigkeit als ihrer Wellenlängenempfindlichkeit.

Außer der Ionisationsmethode stehen zur Verfügung:

A. die Leitfähigkeitsänderung, z. B. der Selenzelle (Fürstenau-Intensimeter);
B. die Empfindlichkeit der photographischen Platte;
C. die Fluoreszenzhelligkeit von Leuchtschirmen;
D. die Färbung von Mineralien, z. B. des Bariumplatinzyanürs, der Sabouraud-Tablette;
E. die chemische Umsetzung (Ausfällung);
F. die biologische Reaktion;
G. die physikalische Energiemessung.

Die Beziehungen zwischen der physikalischen Energiemessung und der Ionisationsmessung in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen haben wir bereits im VIII. Kapitel behandelt. Daselbst sahen wir, daß die biologische Methode an Genauigkeit nicht im entferntesten mit der Ionisationsmethode konkurrieren kann. Über die Wellenlängenabhängigkeit biologischer Reaktionen läßt sich heute noch nichts aussagen, da Untersuchungen über gleiche absorbierte Energie noch nicht vorliegen (vgl. VIII. und IX. Kapitel). Wir haben somit hier nur noch die Methoden A bis E zu behandeln.

1. Die Leitfähigkeitsänderung der Selenzelle.

Bereits Krönig und Friedrich haben die Selenzelle eines Fürstenau-Intensimeters mit einer Fingerhutkamera bei vier verschiedenen, verhältnismäßig inhomogenen Strahlengemischen verglichen. Sie fanden einen Gang der Empfindlichkeit, der für Strahlengemische mittlerer Härte ein deutliches Extremum zeigt (Tabelle 57). Bei Versuchen des Verfassers mit ähnlichen Strahlengemischen ergab sich derselbe Befund. Der Verfasser hat deshalb ein ganz neues Fürstenau-Intensimeter, Spezialtyp für Tiefentherapie, bei zwölf verhältnismäßig stark mit Kupfer gefilterten und bei verschiedenen Spannungen erzeugten und daher ziemlich homogenen Strahlengemischen einem Vergleich mit einer Fingerhutkammer aus Kohle und mit der großen Kohle-

kammer des Standardgeräts (IX. Kapitel) unterworfen. Die zwölf Reststrahlengemische wurden auf ihre Halbwertschicht in Kupfer geprüft, und für diejenigen Wellenlängen, welche nach den Messungen von Richtmyer und von Duane und Mazumder diesen Halbwertschichten entsprechen, wurden die beobachteten Fürstenau-Einheiten, bezogen auf Ionisation an großer und kleiner Kammer, als Kurve I und II in Abb. 38 eingetragen. Das Maximum tritt bei diesen homogeneren Strahlengemischen mit außerordentlicher Schärfe bei etwa 0,22 Å hervor und es ist durchaus zu erwarten, daß es bei noch homogeneren Strahlungen noch deutlicher hervortreten wird. Zweifellos genügte für die harten Strahlungen auch die große Kammer den Forderungen Holthusens (VIII. Kapitel, 3) nicht. Wäre hierdurch aber für die harten Strahlen die Ionisation zu gering gemessen worden, und wollte man diesen Einfluß kompensieren, so träte das Maximum nur noch stärker hervor. Die zu geringe Größe der Ionisationskammer kann also das Maximum nicht erklären, wofür auch der Umstand spricht, daß sich die Kurven für die größere und die Fingerhutkammer fast decken. Da die K-Absorptionsbandkante des Selen bei 0,979 Å liegt (Tabelle 17), kann sie ebensowenig die Ursache der Erscheinung sein. Demgegenüber hat der Verfasser das Zustandekommen des Maximums dadurch erklärt, daß für weiche Röntgenstrahlen die Ionisation im wesentlichen durch den normalen Absorptionsvorgang, für harte Röntgenstrahlen aber mehr und mehr durch die Rückstoßelektronen des Compton-Effekts bedingt wird. Die Untersuchungen von Fricke und Glasser (III. Kapitel, Tabelle 15), die sich gerade auf das Wellenlängengebiet zwischen 0,1 und 0,2 Å erstrecken, scheinen dieses zu bestätigen.

Tabelle 57. Fürstenau-Intensimeter und Fingerhutkamera nach Krönig und Friedrich.

Röntgenstrahlen gefiltert mit	Intensitätsverhältnis nach Krönig und Friedrich: Fingerhutkamera / Fürstenau-Intensimeter	Intensitätsverhältnis nach Krönig und Friedrich: Fürstenau-Intensimeter / Fingerhutkamera
1 mm Kupfer	1,00	1,00
10 mm Aluminium	0,91	1,10
3 mm Aluminium	0,94	1,06
—	1,21	0,83

Die Zuverlässigkeit des Fürstenau-Intensimeters haben Krönig und Friedrich mittels einer konstanten γ-Strahlquelle geprüft und gefunden, daß bei ihren Messungen, die in Zeitintervallen bis zu mehreren Monaten ausgeführt wurden, die Werte in recht guter Übereinstimmung waren. Die Differenzen in den Meßwerten überstiegen nicht 5% des Mittelwertes.

Untersuchungen des Verfassers führten zu folgenden Ergebnissen:

a) Die Selenzelle zeigt im wesentlichen in den ersten 40 Minuten eine Abnahme der Empfindlichkeit (Ermüdung), die bis zu 27% der Empfindlichkeit im Gleichgewichtszustande betragen kann.

b) Bei Dauerbetrieb (bis zu 6 Stunden) unterliegt die Selenzelle Empfindlichkeitsschwankungen bis zu 10% ihrer mittleren Empfindlichkeit.

2. Die Empfindlichkeit der photographischen Platte.

Die photographische Platte wird sowohl mit als ohne Verstärkerschirm als Reagens auf Röntgenstrahlen verwendet. In beiden Fällen ist ihre Empfindlichkeit wesentlich verschieden; beide Fälle müssen daher getrennt behandelt werden.

a) Die photographische Platte ohne Verstärkerschirm.

Die grundlegenden Untersuchungen hierüber verdanken wir Glocker und seinen Mitarbeitern und Bouwers. Wird von der auf die fertig entwickelte und fixierte

Platte auffallenden Lichtmenge i_0 sichtbarer Strahlung nur der Betrag i hindurchgelassen, so beträgt die Schwärzung der Platte in absolutem Maß

$$S = \log_{10} \frac{i_0}{i}, \tag{115}$$

wobei $\log_{10}$ der Briggsche Logarithmus ist. Tritt also nur $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, $^1/_{1000}$ des einfallenden Lichts durch die Platte, so ist $S = 1$, $S = 2$, $S = 3$. Zur Orientierung diene folgendes: Nach Glocker ist bei einer Thoraxaufnahme, je nach Entwicklung, für die Lungenpartien $S = 1$; für die Rippenschatten $S = 0{,}5$; die starken Schwärzungen der Randpartien außerhalb des Thorax geben $S = 2$. Infolge der Entwicklung tritt auch ohne vorherige Belichtung ein „Schleier" auf. Für ihn ist $S = 0{,}1$ bis $0{,}2$. Die Schleierschwärzung ist zu subtrahieren.

Glocker hielt während jeder Versuchsreihe die Qualität der ziemlich gut monochromatischen Strahlung konstant. Aus diesem Grund konnte er die Intensität der Röntgenstrahlen nach der Ionisationsmethode messen und mit der Schwärzung vergleichen. Seine Ergebnisse sind:

Das Produkt aus Röntgenintensität und Expositionszeit ist maßgebend für die Schwärzung. Ändert man beide Faktoren, so ist die Schwärzung solange dieselbe, als ihr Produkt das gleiche ist.

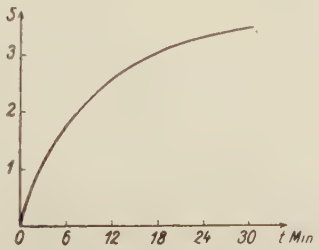


Abb. 123. Schwärzungskurve durch Röntgenstrahlen nach Glocker.

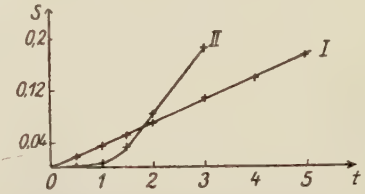


Abb. 124. Anfänglicher Verlauf der Schwärzungskurven für Röntgenstrahlen (I) und Licht (II) nach Glocker.

Der Verlauf einer Schwärzungskurve, d. h. die Abhängigkeit der Schwärzung S vom Produkt Expositionszeit × Röntgenintensität, ist unabhängig von der Wellenlänge. Die Silberbandkante übt keinen Einfluß auf die Schwärzungskurve aus, d. h. die Schwärzungskurve ist dieselbe, gleichviel, ob die Wellenlänge der Röntgenstrahlen größer oder kleiner als die der K-Absorptionsbandkarte des Silbers (0,49 A) ist. Abb. 123 zeigt den typischen Verlauf einer Schwärzungskurve.

Für sehr kleine Schwärzungen besteht strenge Proportionalität zwischen der Schwärzung und dem Produkt Expositionszeit × Röntgenintensität. Ein Schwellenwert, wie bei sichtbarem Licht, tritt nicht auf (Abb. 124).

Im Gebiete starker Schwärzungen erfolgt die Zunahme der Schwärzung wie beim sichtbaren Licht proportional dem Logarithmus des Produktes: Expositionszeit × Röntgenintensität.

Nach Bouwers folgt die Schwärzung dem Gesetz von Busé:

$$S = C \cdot \log. \left(\frac{t \cdot J}{c} + 1 \right), \tag{116}$$

worin t die Belichtungszeit, J die Intensität der Röntgenstrahlen bedeuten und C und c Konstanten sind.

Bei $S = 4$ tritt Solarisation ein.

Hinsichtlich der Abhängigkeit der Schwärzung von der Entwicklungsweise muß auf das Original verwiesen werden.

Den Zusammenhang zwischen Schwärzung und Ionisation für Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge untersuchte Berthold. Seine Kammer genügte den Forderungen

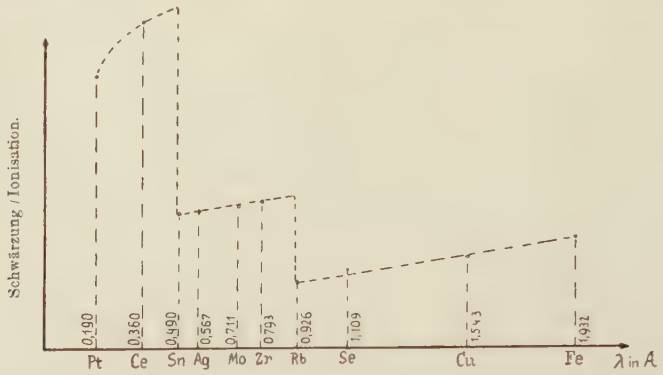


Abb. 125. Schwärzung der photographischen Platte in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen, bezogen auf gleiche gemessene Ionisation nach Berthold.

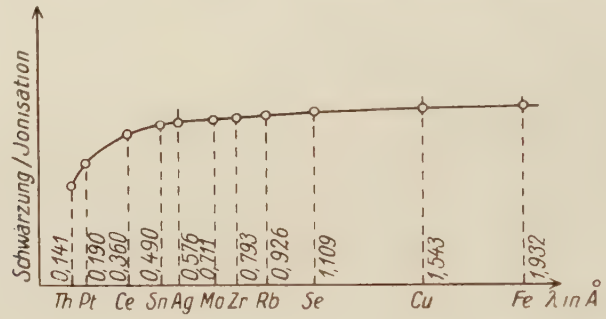


Abb. 126. Schwärzung der photographischen Platte in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen, bezogen auf gleiche in der Bromsilberschicht und Ionisationskammer absorbierte Energie nach Berthold.

Holthusens, und seine verschiedenen Strahlungen waren nahezu homogen. Die Abhängigkeit der auf gleiche Ionisation bezogenen Schwärzungen von der Wellenlänge in Å zeigt Abb. 125. Man erkennt an der K-Absorptionsbandkante sowohl des Broms wie des Silbers ein sprunghaftes Zunehmen der Schwärzung. Bezieht man demgegenüber das Verhältnis der Schwärzung zur Ionisation auf gleiche in der Platte und in der Luft absorbierte Energie, so erweist sich dieses Verhältnis als nur wenig abhängig von der Wellenlänge und die Sprünge an den Bandkanten fallen weg, wie Abb. 126 lehrt.

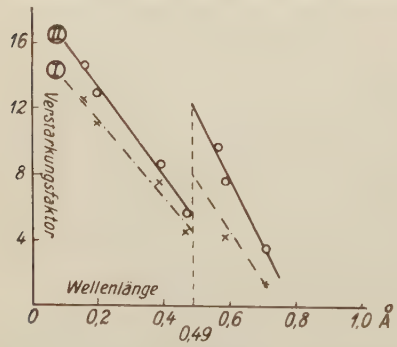


Abb. 127. Der Folienfaktor in Abhängigkeit von der Wellenlänge nach Glocker.

b) Die photographische Platte mit Verstärkerschirm.

Diese Untersuchungen verdanken wir Glocker und Schlechter. Wir verstehen unter dem Verstärkungsfaktor V das Verhältnis der Expositionszeit ohne zur Expositionszeit mit Verstärkerschirm, wenn in beiden Fällen gleiche Intensität der Strahlung und gleiche Schwärzung vorhanden ist. Wie Abb. 127 zeigt, weist der Verstärkungsfaktor eine große Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntt-

genstrahlen auf; er nimmt mit der Härte der Röntgenstrahlung zu, erleidet aber an der K-Absorptionsbandkante des Silbers einen Sprung nach kleineren Werten. Kurve I gilt für Durchleuchtung in der Reihenfolge Folie Platte, Kurve II für die umgekehrte Reihenfolge, und zwar für Heyden-Folie. Besteht auch die Folie aus einem Material, das im untersuchten Wellenlängenbereich eine Absorptionsbandkante besitzt, so ist für diese ebenfalls eine Unstetigkeit zu erwarten.

Da der Verstärkerschirm durch sichtbares oder ultraviolettes Licht auf die Platte einwirkt, so verursacht seine Verwendung auch im Röntgengebiet einen Schwellenwert für den Verlauf der Schwärzungskurve, wie Abb. 128 zeigt.

c) Die Zuverlässigkeit der photographischen Emulsion in ihren Schwärzungsangaben ist verhältnismäßig gering.

So beobachteten bereits Krönig und Friedrich, daß die Empfindlichkeit einer photographischen Schicht an verschiedenen Stellen derselben Platte oftmals Unterschiede von mehr als 50 % aufwies. Auch fanden sie des öfteren bei Kienböck-Streifen, die die gleiche Dosis Strahlen erhalten hatten und einwandfrei gleich chemisch behandelt waren, Schwärzungsdifferenzen, die nach der Empfindlichkeitsbestimmung mehr als 50 % der Dosis entsprechen würden. Der Verfasser fand bei Kienböck-Streifen sogar Schwärzungsunterschiede, welche bei vorschriftsmäßiger Anwendung des Verfahrens zu Dosisfehlern von 267 % führen würden. Diese Tatsachen und der Umstand, daß die Schwärzung im Vergleich mit der Ionisation für gewisse Wellenlängen Unstetigkeiten aufweist, machen das photographische Verfahren für praktische Dosierungszwecke, bei denen man Schlüsse aus Einzelaufnahmen ziehen will, unbrauchbar, insofern nicht besondere Vorsichtsmaßregeln angewendet werden. Für wissenschaftliche Untersuchungen ist es in der Hand eines erfahrenen Fachmannes natürlich brauchbar.

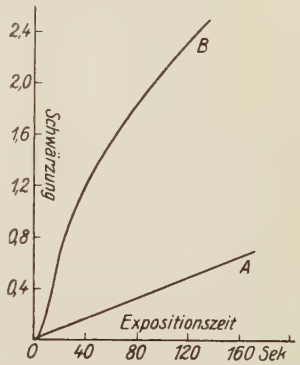


Abb. 128. Anfänglicher Verlauf der Schwärzungskurve durch Röntgenstrahlen mit und ohne Verstärkerfolie nach Glocker.

d) Das photographische Dosimeter nach Behnken.

Dieses Verfahren schaltet die beiden wesentlichsten Fehlerquellen der photographischen Methode, nämlich einerseits Schwärzungsunterschiede und andererseits Einflüsse des Entwicklungsverfahrens, dadurch aus, daß ein streifenförmiger Teil der Platte zunächst mit einer Glühlampe, welche als Standard dient, unter bestimmten Betriebsbedingungen eine bestimmte Zeit lang aus bestimmter Entfernung belichtet wird. Bei Bestrahlung der Platte mit Röntgenstrahlen wird dieser Streifen durch Blei geschützt. Die Röntgenaufnahme erfolgt mit Hilfe einer Verstärkerfolie; zwischen diese und die Platte ist eine vielstufige Treppe aus Gelatinefolien gelegt, welche je nach ihrer Dicke die vorzugsweise ultraviolette Strahlenwirkung der Folie auf die Platte absorbieren. Nach der Entwicklung der Platte zeigt sich eine gewisse Schwärzung des Lichtstandardstreifens und eine Schwärzungsskala, die, für die harten Strahlen der Tiefentherapie, nach Abb. 127 im wesentlichen durch das Leuchten der Verstärkerfolie unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen bedingt wurde (Abb. 129). Das Verfahren wurde von Behnken auch für Härtemessung der Röntgenstrahlen ausgebaut, doch muß diesbezüglich auf das Original verwiesen werden. Bei vorschriftsmäßiger Verwendung schaltet es auch diejenige Fehlerquelle aus, welche durch die sprunghafte Absorption der Röntgenstrahlung an der Silberbandkante der Emulsion bedingt wird. Das Behnkensche Verfahren stellt daher das einzige einwandfreie photographische Dosimeter dar.

3. Die Fluoreszenzhelligkeit von Leuchtschirmen.

Wintz und Rump haben die Fluoreszenzhelligkeit eines Astralschirmes mit Hilfe eines Polarisationsphotometers ausgemessen und unter den verschiedensten Verhältnissen durch gleichzeitige Messungen mit dem Iontoquantimeter verglichen. Da der Astralschirm in der Hauptsache aus Zinksilikat besteht, also nur Elemente niedriger

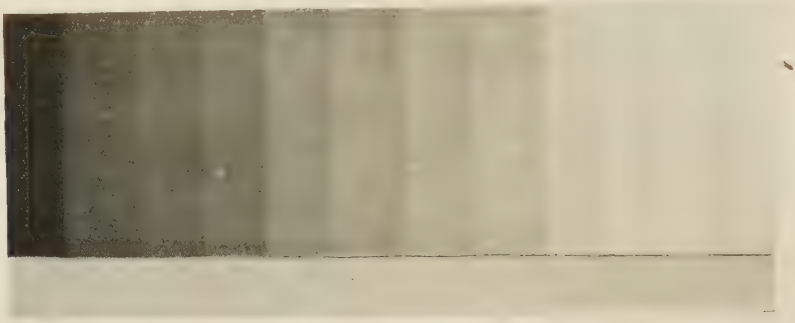


Abb. 129. Aufnahme mit Hilfe des photographischen Dosismessers nach Behnken.

Atomzahl enthält, deren Absorptionsbandkante außerhalb des Wellenlängenbereichs der Tiefentherapie liegt, so ergab sich, abgesehen von gewissen Abweichungen, die in der Eigenart der Meßmethoden begründet sind, durchaus befriedigende Übereinstimmung der Resultate. Abb. 130 zeigt die beobachtete Ionisation und Fluoreszenzhelligkeit in Abhängigkeit von der Aluminiumfilterdicke für eine Strahlung von 110 kV Scheitelspannung. Die größte Abweichung tritt bei ungefilterten Strahlen auf. Aber schon mit Filterungen von 4 mm Aluminium an decken sich die Kurven vollkommen. Für die in der Tiefentherapie gebräuchlichen, im allgemeinen beträchtlich härteren Strahlengemische darf also Übereinstimmung in den Angaben des Iontoquantimeters und des Fluoreszenzschirmes angenommen werden, vorausgesetzt, daß dieser leichtatomige Bestandteile enthält. Im Hinblick auf die Empfindlichkeitsunterschiede, die Fingerhutkammern aus verschiedenem Material bei verschiedenen Wellenlängen nach Versuchen von Friedrich und Glasser aufweisen (Abb. 20, VI. Kapitel), dürfte dieses Ergebnis allerdings nicht ohne weiteres auf andere Fingerhutkammern zu übertragen sein.

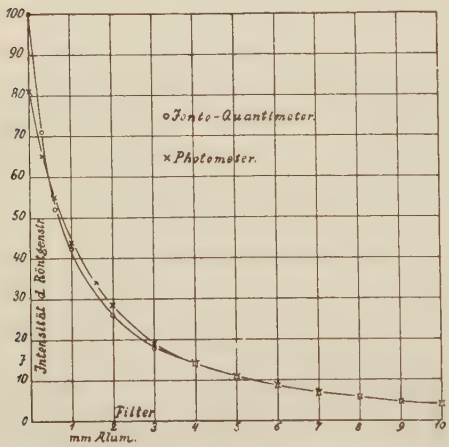


Abb. 130. Ionisation am Iontoquantimeter und Fluoreszenzhelligkeit in Abhängigkeit von der Härte der Röntgenstrahlen nach Wintz und Rump.

Wintz und Rump haben ein Dosimeter konstruiert, das auf der Fluoreszenzwirkung der Röntgenstrahlen beruht.

4. Die Färbung der Sabouraud-Noiré-Tablette.

Diese wurde von Krönig und Friedrich zur Prüfung ihrer Empfindlichkeit Röntgenstrahlen von bestimmter Härte bei verschiedenen Dosen ausgesetzt. Die Ab-

lesung erfolgte mit einem Holzknecht-Dosimeter bei gewöhnlichem Glühlicht sowie bei einer Speziallampe. Die Ergebnisse sind in Tabelle 58 dargestellt und beweisen, daß die Empfindlichkeit der Sabouraud-Noiré-Tablette eine äußerst geringe ist. Erst bei einer Dosisdifferenz von etwa 50% können wir einen Unterschied in der Verfärbung der Tablette feststellen. Öfters wiederholte Messungen hatten dasselbe Resultat. Nach diesen Ergebnissen dürfte die Sabouraud-Noiré-Tablette kaum den Anforderungen der Tiefentherapie genügen.

Tabelle 58.
Empfindlichkeit der Sabouraud-Noiré-Tablette.

Dosis	75 c	115 c	150 c
Abgelesener Wert am Holzknecht-Dosimeter in H .	1,5 –1,75	1,5—1,8	2,0—2,5

Trotzdem hat sie sich für die Oberflächentherapie außerordentlich gut bewährt. Hier kann die Ionisationsmethode offenbar deshalb nicht konkurrieren, weil die Wellenlängenempfindlichkeit der verschiedenen Ionisationsgeräte bei den weichen Strahlengemischen sehr verschiedenen Härtegrades der Oberflächentherapie zu stark ins Gewicht fällt.

5. Die chemische Umsetzung.

Bei der systematischen Durchforschung röntgenstrahlenempfindlicher Lösungen zeigte nach Angaben Glockers keine eine genügende Empfindlichkeit außer der Jodoform-Chloroformlösung. Bei dieser tritt schon nach $^1/_2$ Minute eine deutliche Rotfärbung infolge von Jodausscheidung auf. Glocker, Rothacker und Schönleber haben den Vorgang quantitativ eingehend untersucht. Dabei fanden sie, daß bei geringer Strahlenintensität die Reaktion erst nach einer gewissen Bestrahlungszeit einsetzt; es besteht ein „Schwellenwert" wie bei der photographischen Wirkung sichtbaren Lichtes. Ist die Reaktion unter Einwirkung der Röntgenstrahlen aber einmal eingeleitet, so läuft sie auch nach Aussetzen der Bestrahlung solange weiter, bis der im bestrahlten Kölbchen vorhandene Sauerstoff aufgebraucht ist. Folgender Versuch möge als Beispiel dienen. Mehrere Kölbchen wurden gleich lange, aber verschieden intensiv bestrahlt. Während sich die intensiv belichteten bereits unter der Röhre, die anderen erst einige Minuten nach der Bestrahlung färbten, erwies sich bei allen verschieden intensiv bestrahlten Kölbchen 10 Minuten nach Beendigung der Bestrahlung die ausgeschiedene Jodmenge als gleich groß. Die Röntgenstrahlen wirken also nur auslösend. Die durch die Bestrahlung eingeleitete chemische Reaktion schreitet dann unabhängig von der Einwirkung der Röntgenstrahlen fort, und der größte Teil der ausgeschiedenen Jodmenge rührt von dieser ausgelösten Reaktion her. Die Verwendung dieser Reaktion zu Meßzwecken und zur Dosierung ist somit unmöglich, da die Jodmenge der Strahlungsenergie keineswegs proportional ist.

Literaturverzeichnis.

Angerer, E., Bolometrische Untersuchungen über die Energie der X-Strahlen, Ann. d. Phys. 1906, 21 S. 87.
— Ursprung der Wärmeentwicklung bei Absorption von Röntgenstrahlen, Ann. d. Phys. 1907, 24 S. 370.
Barkla, C. G., Secondary radiation from gases subject to X-rays., Phil. Mag. 1903, 5 S. 685.
— Polarised Röntgen-radiation, Phil. Trans. A. 1905, 204 S. 467.
— und A. J. Philpot, Ionization in gases and gaseous mixtures by Röntgen and corpuscular (electronic) radiations, Phil. Mag. 1913, 25 S. 832.

Barkla, C. G. und C. A. Sadler, The absorption of Röntgen-rays, Phil. Mag. 1990, 17 S. 739. und R. R. C. Sale, Notes on X-ray scattering and on I-radiations, Phil. Mag. (6) 1923, 45, Nr. 268 S. 737.
Beatty, R. T., The ionisation of heavy gases by X-rays, Proc. Roy. Soc. 1911, 85 S. 230.
Becker, A. und H. Holthusen, Über die Trägererzeugung hochfrequenter Wellenstrahlung in abgeschlossenen Gasräumen, Ann. d. Phys. 1925, 64 S. 625.
Behnken, H., Ein Beitrag zur Kenntnis des kontinuierlichen Röntgenspektrums, Zschr. f. Phys. 1920, 3 S. 48.
— Das kontinuierliche Röntgenspektrum, Zschr. f. Phys. 1921, 4 S. 241.
— Die Verwendung von Verstärkerfolien zur photographischen Dosisbestimmung, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29 S. 330.
— Ein neuer Röntgenstrahlenhärtemesser, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 30 S. 553.
— Die Vereinheitlichung der Röntgenstrahlendosismessung und die Eichung von Dosismessern, Zschr. f. techn. Phys. 1924, 4 S. 3.
Benoist, Lois de transparence de la matière pour les rayons X, Journ. de Phys. (3) 1901, 10 S. 653.
Berg, O., und P. Ellinger, Über die Emission von Elektronen bei Betrahlung verschiedener Substanzen mit Röntgenstrahlen, Wiss. Veröff. a. d. Siemenskonzern 1922, 2 S. 331.
Berg, O., W. Schwerdtfeger und R. Thaller, Ein Normalmeßgerät für Röntgenstrahlen, Wiss. Veröff. a. d. Siemenskonzern 1924, 3 S. 162.
Berthold, R., Die photographische und ionisierende Wirkung von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Verh. D. Röntg. Ges. 1924, 15, Kongreßheft S. 192.
— und R. Glocker, Über photographische und ionometrische Intensitätsmessungen an Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1925, 31 S. 259.
Bohr, N., Abhandlungen über Atombau aus den Jahren 1913—1916. Autorisierte deutsche Übersetzung von H. Stintzing, Vieweg & Sohn 1921.
— Über den Bau der Atome, Jul. Springer 1924.
Boos, B., Über das Verhältnis von Ionisation und absorbierter Energie bei Ionisationsmessungen an Röntgenstrahlen, Zschr. f. Phys. 1922, 10 S. 1.
Bornhauser, O., H. Holfelder und E. Yaloussis s. Holfelder.
Bothe, W., Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen, Zschr. f. Phys. 1923, 16 S. 319.
— Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen II, Zschr. f. Phys. 1923, 20 S. 237.
— Die Emissionsrichtung durch Röntgenstrahlen ausgelöster Photoelektronen, Zschr. f. Phys. 1924, 26 S. 59.
— Theoretische Betrachtungen über den Photoeffekt, Zschr. f. Phys. 1924, 26 S. 74.
Bouwers, A., Over het meten der Intensiteit van Röntgenstralen, Dissertation Utrecht 1924.
Brenzinger, M., Eine neue Aufladevorrichtung für Elektroskope, Iontoquantimeter und ähnliche Apparate, Strahlenther. 1923, 16 S. 1.
Broglie, M. de, Sur les spectres corpusculaires des éléments, Compt. rend. hebdom. des séances de l'Acad. des sc. 1921, 172 S. 274.
— Les phénomènes photo-électriques pour les rayons X et les spectres corpusculaires des éléments, Journ. de phys. et de Rad. (6) 1921, 2 S. 265.
Carter, E., Über das Verhältnis der Energie der Röntgenstrahlen zur Energie der erzeugenden Kathodenstrahlen, Ann. d. Phys. 1906, 21 S. 955.
Cermak, P., Die Röntgenstrahlen, Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1923.
Clarke, und D. L. Webster s. Webster.
Clung, Mc, The effect of Temperature on the ionization produced in gases by the action of Röntgen-rays, Phil. Mag. (6) 1904, 7 S. 81.
Compton, A. H., A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements, Phys. Rev. (2) 1923, 21, Nr. 2 S. 207.
— Recoil of electrons from scattered X-rays, Nature 1923, 112, Nr. 2812 S. 435.
— Wave lenght measurements of scattered X-rays, Phys. Rev. (2) 1923, 21, Nr. 6 S. 715.
— Absorption measurements of the change of wave lenght accompanying the scatternig of X-rays, Phil. Mag. (6) 1923, 46, Nr. 275 S. 897.
Crowther, J. A., On the secondary Röntgen-radiation from gases and vapours, Phil. Mag. (14) 1907, S. 653.
— On the relation between ionization and pressure for Röntgen-rays in different gases, Proc. Cambr. Soc. 1908, 15 S. 34.
Dauvillier, A., Recherches spectrométriques sur les rayons X, Masson et Cie. éditeurs, Paris 1920.
Debye, P., Zerstreuung von Röntgenstrahlen, Ann. d. Phys. 1915, 46, S. 809.
— Zerstreuung von Röntgenstrahlen und Quantentheorie, Phys. Z. 1923, 24 S. 161.

Dessauer, F., und F. Vierheller, Die Tiefenwirkung der Röntgenstrahlen, Strahlenther. 1921, 12 S. 1.
— und —, Über die Zerstreuung von Röntgenstrahlen in Wasser, Zschr. f. Phys. 1921, 4 S. 131.
— und R. Herz, Zur Härteverteilung der gestreuten Röntgenstrahlen, Zschr. f. Phys. 1924, 27, S. 56.
Dietlen, H., Vorschlag zur Einschränkung der Gefahr von Röntgenschädigungen und zur Gewinnung eines einheitlichen Dosierungsverfahrens, M. m. W. 1920, Nr. 47 S. 1355.
Dorn, E., Versuche über Sekundärstrahlen und Röntgenstrahlen, Abh. d. Natf. Ges. Halle 1900, 22 S. 39.
Duane, W., und F. L. Hunt, Über Wellenlängen von Röntgenstrahlen, Phys. Rev. 1915, 6 S. 166.
— und K. C. Mazumder, Absorption of short X-rays by aluminium and copper, Proc. Nat. Acad. Amer. 1922, 8, Nr. 3 S. 45.
Ellinger, P., und O. Berg s. Berg.
Ewald, P. P., Kristalle und Röntgenstrahlen, Jul. Springer, Berlin 1923.
Finkenrath, K., Quantitative Strahlenmesssung in der Lichtbehandlung, Strahlenther. 1924, 16, S. 309.
Fricke, H., und O. Glasser, Über die durch Röntgenstrahlen in Elementen niederen Atomgewichts ausgelösten sekundären Elektronen, Zschr. f. Phys. 1924, 29 S. 374.
Friedrich, W., und B. Krönig s. Krönig.
— und H. Körner, Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß des Röhrenabstandes und der Feldgröße auf den Dosenquotienten, Strahlenther. 1920, 11 S. 961.
— und O. Glasser, Untersuchungen und Betrachtungen über das Problem der Dosimetrie, Strahlenther. 1923, 14 S. 362.
Fritz, O., Röhrenspannung und Bromsilberschwärzung, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29 S. 281.
Gerlach, W., Materie, Elektrizität, Energie, Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1923.
Glasser, O., und W. Friedrich s. Friedrich.
— und H. Fricke s. Fricke.
Glocker, R., Absorptionsgesetze für Röntgenstrahlen, Phys. Z. 1918, 19 S. 66.
— Über die Berechnung der sekundären Röntgenstrahlen einer Platte, Phys. Z. 1918, 19, S. 249.
— Die Streuwirkung des räumlichen Kohlenstoffatoms, Zschr. f. Phys. 1921, 5 S. 54.
— Experimentelle Untersuchungen über die physikalischen Grundlagen der Röntgendiagnostik, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29, S. 100.
— und M. Kaupp, Atomstruktur und Streustrahlung, Ann. d. Phys. 1921, 64 S. 541.
— O. Rothacker und W. Schönleber, Neue Methoden zur Messung der Tiefendosis im Wasserphantom, Strahlenther. 1922, 14 S. 389.
Über Röntgenapparate (Konstruktionsprinzipien und physikalische Grundlagen), Verh. D. Röntg. Ges. 1924, 15. Kongreßheft S. 174.
Gottlieb, Ch., Zur Frage der Isodosenkurven in der Röntgentherapie, D. m. W. 1923, 32 S. 1056.
Grebe, L., Über ein einfaches Einfadenelektrometer, Zschr. f. Phys. 1920, 3 S. 329.
— Über den Energieverbrauch bei der Ionisation der Luft durch Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1924, 24 S. 264.
— und H. Martius, Röntgenstrahlenmessung mit großer und kleiner Ionisationskammer, Fortschr. d. Röntgenstr. 1919/21, 27 S. 512.
— Über die elektrische Leitfähigkeit fester Dielektrika bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen, Zschr. f. Phys. 1923, 17 S. 295.
— und H. Martius, Vergleichende Messungen über die Größe der zur Erreichung des Hauterythems gebräuchlichen Röntgenstrahlmengen, Strahlenther. 924, 18 S. 395.
— und L. Kriegesmann, Über den Energieverbrauch bei der Ionisation durch Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1924, 28 S. 91.
— — Über den Energieverbrauch bei der Luftionisation durch Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Phys. Z. 1924, 25 S. 597.
Großmann, G., Physikalische und technische Gesichtspunkte für die Erzielung eines rationellen Therapiebetriebes, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29 S. 337.
Hammer, W., Über ein neues Dosimeter für ionisierende Strahlen, insbesondere Röntgenstrahlen, Verh. d. D. Röntg. Ges. 1922, 30, Kongreßheft 13 S. 99.
Haußer, K. W., R. Jaeger, und W. Vahle, Röhrengalvanometer, Wiss. Veröff. a. d. Siemenskonzern 1922, 2 S. 325.
— und W. Vahle, Die Abhängigkeit des Lichterythems und der Pigmentbildung von der Schwingungszahl (Wellenlänge) der erregenden Strahlung, Strahlenther. 1922, 13 S. 41.
Herz, R., und F. Dessauer s. Dessauer.

Hewlett, C. W., The mass absorption and mass scattering coefficients for homogeneous X-rays of wavelenght between 0,13 and 1,05 Å units in water, lithium, carbon, nitrogen, oxygen, aluminium and iron, Phys. Rev. (2) 1921, 17, Nr. 3 S. 284.
Holfelder, H., Das Problem der räumlich homogenen Dosierung in der chirurgischen Röntgentiefentherapie und seine Lösung durch den Felderwähler, M. m. W. 1920 H. 32.
Die Tiefenbestrahlungstechnik an der Schmiedenschen Klinik, Strahlenther. 1921, 12.
Die Röntgentiefentherapie der malignen Tumoren und der äußeren Tuberkulose, Strahlenther. 1922, 13.
— The Underlying principles in the Radio-Therapy of malignant Tumors at the surgical Clinic of the University of Francfort o. M., Americ. Journ. of Roentgenology 1922.
Handbuch der Röntgentherapie in der Chirurgie (Teillieferung des Handbuches der Röntgentherapie), herausgegeben von Krause-Bonn, Verlag Dr. Werner Klinkhardt, Leipzig, 1924.
— Atlas von Körperdurchschnitten für die Röntgentherapie in 38 durchsichtigen Gelatinetafeln, Julius Springer, Berlin 1924.
— O. Bornhauser und E. Yaloussis, Über die Intensitätsverteilung der Röntgenstrahlen in der Körpertiefe, Strahlenther. 1924, 16 S. 412.
Holthusen, H., Über die Bedingungen der Röntgenstrahlenenergiemessung bei verschiedenen Impulsbreiten auf luftelektrischem Wege, Fortschr. d. Röntgenstr. 1918/19, 26 S. 211.
— Bestimmung des Streukoeffizienten von Röntgenstrahlen, Phys. Z. 1919, 20 S. 5.
— Zur Auswahl des Einheitsmaßes in der Dosimetrie, Strahlenther. 1925, 19 S. 185.
— und H. Becker s. Becker.
Hull und Nichols s. Nichols.
Jaeger, R., Über ein neues, direkt zeigendes und registrierendes Röntgenstrahlenmeßgerät, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 30, Kongreßheft S. 186.
— Eine neue Röntgendosisuhr (Dosiszähler), Fortschr. d. Röntgenstr. 1923, 31, Kongreßheft S. 120.
— Bau und Anwendung des Siemens-Röntgen-Dosismessers, Fortschr. d. Röntgenstr. 1923, 30. Heft 5/6.
— Ein neuer Röntgendosiszähler, Strahlenther. 1924, 16 S. 487.
— K. W. Haußer und W. Vahle s. Haußer.
— und W. Rump, Über die Bestimmung des Schwächungskoeffizienten und der Streuzusatzstrahlung mit dem Siemens-Röntgen-Dosismesser, Strahlenther. 1923, 15 S. 650.
— und Halberstaedter, Über die kleine Ionisationskammer, Zschr. f. physik. diät. Ther. 1925, 29 S. 185.
Janus, F., Das Iontogalvanometer, Strahlenther. 1920, 10 S. 1105.
Karolus, A., Untersuchung über das kontinuierliche Röntgenspektrum bei verschiedenen Entladungsfrequenzen, Ann. d. Phys. 1923, 72 S. 595.
Kaupp, M., und R. Glocker s. Glocker.
Kaye, G. W. C., X-rays (3), London 1918.
Kettmann, G., Über die Intensität von Röntgenspektrallinien bei höheren Spannungen, Zschr. f. Phys. 1923, 18 S. 359.
Kossel, W., Bemerkung zur Absorption reiner Röntgenstrahlen, Verh. D. phys. Ges. 1914, 16 S. 898.
— Valenzkräfte und Röntgenspektren, Jul. Springer, Berlin 1921.
— Über die Ergiebigkeit der Röntgenfluoreszenz und die Frage des Intensitätsvergleichs an Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1923, 19 S. 333.
Körner, H., und W. Friedrich s. Friedrich.
Krönig, B., und W. Friedrich, Physikalische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie, Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1918.
Kulenkampff, H., Über das kontinuierliche Röntgenspektrum, Ann. d. Phys. 1922, 69 S. 548.
— und E. Wagner s. Wagner.
Küstner, H., Sekundäre Strahlung und Streuung der Röntgenstrahlen, Verh. D. Röntg. Ges. 13. Kongreß d. Naturf. u. Ärzte 1922 S. 3.
— Die Streustrahlung bei der diagnostischen und therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen, Naturw. 1923 S. 97.
— Tagesfragen der Dosimetrie, Strahlenther. 1923, 15 S. 611.
— Die Standardisierung der Röntgendosismessung, Klin. W. 1924, 3 S. 774; Strahlenther. 1924, 17 S. 1.
— Die physikalischen Grundlagen der Dosimetrie der Röntgenstrahlen mit besonderer Berücksichtigung der Standarddosimetrie, Verh. D. Röntg. Ges. 1924, 15, Kongreßheft S. 56.
— Die Empfindlichkeit der Selenzelle auf Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1924, 27 S. 124.

Küstner, H., Fortschritte der Atomforschung seit der Jahrhundertwende, D. m. W. 1924.
Lenard, P., Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten, Heidelberg, Carl Winters Universitätsbuchhandlung 1918.
Lilienfeld, J. E., Die Hochvakuumröntgenröhren, Jb. d. Radioakt. 1919, 16 S. 105.
— Ber. d. Sächs. Akad. d. Wissensch. Leipzig 1917, 69 S. 226 u. 1919, 71 S. 113.
Lutz, C. W., Über ein Saitenelektrometer, Phys. Z. 1908, 9 S. 100.
Martius, H., Über Röntgenstrahlenmessung im Tiefentherapiebetrieb, Strahlenth. 1923, 16 S. 277.
— und L. Grebe s. Grebe.
Marx, E., Handbuch der Radiologie V: Röntgenstrahlen, Akad. Verlagsgesch. m. b. H., Leipzig 1919.
Mazumder, K. C., und W. Duane s. Duane.
Meitner, L., Über eine notwendige Folgerung aus dem Comptoneffekt und ihre Bestätigung, Zschr. f. Phys. 1923, 22 S. 334.
Moseley, H. G. J., The high-frequency spectra oft the elements, I u. II, Phil. Mag. (6) 1913, 26 S. 1024 u. (6) 1914, 27 S. 703.
Neukirchen, J., Über Streuung der γ-Strahlen des Radium C., Zschr. f. Phys. 1921, 6 S. 106.
Nichols und Hull, vgl. Svante Arrhenius: „Das Werden der Welten", Akad. Verlagsges. m. b. H., Leipzig 1913 S. 110/112.
Philpot, A. J., und C. G. Barkla s. Barkla.
Pohl, R., Die Physik der Röntgenstrahlen, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1912.
Richtmyer, F. K., Mass-Absorption-coefficients as a function of wavelength above and below the K-X-ray limit of the absorber, Phys. Rev. 1924, 17, Nr. 2 S. 264.
Röntgen, W. C., Grundlegende Abhandlungen über die X-Strahlen. Zum 70. Geburtstag des Verfassers herausgegeben von der Physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg, Verlag von Curt Kabitsch, 1915.
Roß, P. A., Change in wave length by scattering, Proc. Nat. Acad. Amer. 1923, 9, Nr. 7 S. 246.
Rothacker, O., R. Glocker und W. Schönleber s. Glocker.
Rump, W. und R. Jaeger s. Jaeger.
— und H. Wintz s. Wintz.
Rutherford, E., Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen, Band II des Handbuches der Radiologie, herausgegeben von E. Marx, Leipzig, Akad. Verlagsges. m. b. H., 1913.
— Über die Kernstruktur der Atome, Backer-Vorlesung, Übersetzung von E. Norst, S. Hirzel 1921.
Sadler, C. A., Transformation of X-rays, Phil. Mag. 1909, 18 S. 107.
— Homogeneous corpuscular radiation, Phil. Mag. 1910, 19 S. 337.
— The transformation of the energy of homogeneous Röntgenradiation into energy of corpuscular radiation, Phil. Mag. 1911, 22 S. 447.
— und C. G. Barkla s. Barkla.
Sale, R. R. C., und C. G. Barkla s. Barkla.
Saupe, E., Über die Verteilung der Röntgenstrahlenenergie in Körperphantomen und über Röntgenstrahlenmessung im praktischen Therapiebetrieb, Strahlenther. 1924, 18 S. 1.
Schlechter, E., Einfluß der Entwicklungsweise und Wirkung des Verstärkungsschirmes auf die photographische Platte bei Röntgenstrahlen, Phys. Z. 1923, 24 S. 29.
Schönleber, W., R. Glocker und O. Rothacker s. Glocker.
Schwerdtfeger, W., O. Berg und R. Thaller s. Berg.
Seemann, H., Die Qualität der Röntgenstrahlen und ihre spektrographische Messung in der Therapie und Röntgentechnik, Strahlenther. 1924, 17 S. 69.
Seitz, W., Über die Asymmetrie der Elektronenemission an sehr dünnen Metallschichten unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen, Ann. d. Phys. 1924, 73 S. 182.
— Über die Asymmetrie der Entladung von Röntgenelektronen, Phys. Z. 1924, 25, S. 546.
— und H. Wintz, Unsere Methode der Röntgentiefentherapie, Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1920.
Siegbahn, M., Über den Zusammenhang zwischen Absorption und Wellenlänge bei Röntgenstrahlen, Phys. Z. 1914, 15 S. 753.
— Spektroskopie der Röntgenstrahlen, Jul. Springer, Berlin 1924.
Solomon, J., La radiotherapie profonde, Paris 1923, Ed. Mason et Cie.
— Journal de radiol. et d'electrol. 1924, 8 S. 351.
Sommerfeld, A., Atombau und Spektrallinien (4), Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1925.
Statz, W., Eine experimentelle Bestimmung des wahren Absorptionskoeffizienten von harten Röntgenstrahlen, Zschr. f. Phys. 1922, 11 S. 304.
Szillard, Internat. Kongreß f. Radiumforschung und Elektrologie, Brüssel 1910.

Thaller, R., O. Berg und W. Schwerdtfeger s. Berg.
Thomson, J. J., Elektrizitätsdurchgang in Gasen, deutsch herausgegeben von E. Marx, B. G. Teubner, Leipzig 1906.
Ulrey, C. T., An experimental investigation of the energy in the continuous X-ray spectrum of certain elements, Phys. Rev. 1918, 11 S. 401.
Vahle, W., K. W. Haußer und R. Jaeger s. Haußer.
Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft, Berichte über die Sitzungen des 14. und 15. Kongresses, Lucas Gräfe u. Sillem, Hamburg 1923/24.
Vierheller, F., und F. Dessauer s. Dessauer.
Wagner, E., Über Röntgenspektroskopie, Phys. Z. 1917, 18 S. 405, 432, 461, 488.
— Bericht über das kontinuierliche Röntgenspektrum, Jb. d. Radioakt. 1919, 16 S. 190.
— Über Spektraluntersuchungen an Röntgenstrahlen, Phys. Z. 1920, 21 S. 621.
— und H. Kulenkampff, Die Intensität der Reflexion von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge an Kalkspat und Steinsalz, Ann. d. Phys. 1922, 68 S. 369.
— und —, Das kontinuierliche Röntgenspektrum, Phys. Z. 1922, 23 S. 503.
Webster, D. L., The high-frequency limits of X-ray spectra at different angles from the cathode stream, Phys. Rev. (2) 1921, 18, Nr. 2 S. 155.
— und Clark, Intensities of X-rays of the L-series as a function of voltage, Phys. Rev. 1917, 9 S. 571.
Whiddington, X-ray electrons, Phil. Mag. 1922, 43 S. 1116.
Wilson, C. T. R., On a method of making visible the paths of ionising particles through a gas, Proc. Roy. Soc. A 1911, 85 S. 285.
— Investigations on X-rays and β-rays by the cloud method, Part. I, X-rays, Proc. Roy. Soc. A 1923, 104 S. 1.
— Investigations on X-rays and β-rays by the cloud method. Part. II, β-rays, Proc. Roy. Soc. A 1923, 104 S. 192.
— Recoil of electron from scattered X-rays, Nature 1923, 112, Nr. 2812 S. 435.
Wintz, H., und W. Seitz s. Seitz.
— und W. Rump, Messungen an Röntgenstrahlen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29 S. 671.
Wulf, Th., Ein Einfadenelektrometer, Phys. Z. 1914, 15 S. 250.
— Meßvorrichtung auf Grund des Wulfschen Fadenelektrometers, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 30, Kongreßheft S. 187.
Yaloussis, E., H. Holfelder und O. Bornhauser s. Holfelder.

Strahlenschutz und Anlage von Röntgenabteilungen

Von

Professor Dr. **R. Glocker**

Mit 11 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 367

II. Physikalische Grundlagen des Strahlenschutzes 367

III. Messungen der Schutzwirkung verschiedener Stoffe 371

IV. Strahlenschutzeinrichtungen und Anlage von Röntgenabteilungen 374

I. Einleitung.

In dem Maße, wie die Intensität und Härte der in der Therapie angewandten Röntgenstrahlen gesteigert wurde, wuchs die Dringlichkeit der Schaffung eines ausreichenden Strahlenschutzes für den Arzt und das Hilfspersonal. Auch kleine, erst beginnende Strahlenschädigungen, wie sie sich z. B. aus einer Veränderung des Blutbildes zu erkennen geben, erfordern ernste Beachtung, weil im Laufe der Jahre durch Akkumulation kleinster Dosen eine schwere gesundheitliche Gefährdung entstehen kann.

Für die Beurteilung des Umfanges des Strahlenschutzes und für die Bemessung der Dicke der strahlensicheren Wände ist es von größter Wichtigkeit, die Maximaldosis zu kennen, die ein Röntgenologe ohne jedes Anzeichen einer Strahlenschädigung in jahrelanger Tätigkeit ertragen kann. Auf Grund einer Umfrage bei verschiedenen amerikanischen Röntgeninstituten hat Mutscheller kürzlich für diese Toleranzdosis angegeben, daß im Laufe eines Monates $^1/_{100}$ Erythemdosis anstandslos ertragen werde. Rechnet man den Monat zu 200 Arbeitsstunden, so heißt dies, daß die Intensität der Röntgenstrahlung an den Stellen des Röntgenzimmers, an denen röntgenologisch berufstätige Personen während der Bestrahlung verweilen, höchstens so groß sein darf, daß in 20000 Stunden eine volle Erythemdosis erreicht wird. Es ist sehr zu wünschen, daß auch die deutschen Röntgenologen sich für diese Frage interessieren und durch statistische Beiträge eine möglichst genaue Bestimmung des Zahlenwertes der Toleranzdosis ermöglichen.

Wie aus diesen einleitenden Bemerkungen hervorgeht, ist das Problem des Strahlenschutzes ein physikalisches und ein biologisches zugleich. Mit dem ersteren Teile wird sich die vorliegende Arbeit befassen, während dem zweiten Teile ein Aufsatz von medizinischer Seite im zweiten Bande der „Ergebnisse der medizinischen Strahlentherapie" gewidmet sein wird.

II. Physikalische Grundlagen des Strahlenschutzes.

Trifft ein paralleles Röntgenstrahlbündel[1]) senkrecht auf eine D cm dicke Schicht irgendeines Stoffes auf, so wird die Intensität der Strahlung beim Durchgang durch die Schicht in der aus dem Grundgesetz der Absorption leicht zu berechnenden Weise geschwächt; es gilt

$$J = J_0 e^{-\mu D}, \tag{1}$$

wobei

J_0 die Intensität auf der Vorderseite der Schicht,

J „ „ „ „ Rückseite „ „ und

μ eine von der chemischen Zusammensetzung des Stoffes und der Qualität der Strahlung abhängige Größe ist, die „Schwächungskoeffizient" genannt wird.

[1]) Praktisch läßt sich diese Annahme verwirklichen durch enge Abblendung der Strahlung und durch großen Fokusabstand.

Das Gesetz für die Strahlenschwächung ist im Falle homogener Röntgenstrahlen besonders einfach. Bei Erhöhung der Dicke wird die Qualität der Strahlung nicht geändert und der Schwächungskoeffizient behält den gleichen Wert bei. Eine praktisch homogene Strahlung ist z. B. eine stark gefilterte Tiefentherapiestrahlung.

Bei einer nichthomogenen Strahlung, welche aus vielen verschiedenen Wellenlängen besteht, werden beim Durchgang durch einen Stoff die langwelligen Strahlen viel mehr geschwächt wie die kurzwelligen, und die Folge davon ist, daß von Schicht zu Schicht die Qualität der Strahlung und der Schwächungskoeffizient sich ständig ändern.

Abgesehen von den Spektralbezirken anormaler Absorption nimmt der Schwächungskoeffizient ungefähr proportional der dritten Potenz der Wellenlänge zu[1]). Steigert man z. B. die Spannung einer Röntgenröhre auf das Doppelte unter gleichzeitiger Erhöhung der Filterdicke, so daß die Wellenlänge des wirksamen Spektralbereiches etwa im Verhältnis 1 : 2 abnimmt, so muß zur Erzielung gleicher Schutzwirkung die Schutzwand nahezu 8mal so dick sein. Jede Spannungssteigerung im Tiefentherapiebetrieb erfordert also eine außerordentlich große, weit mehr als proportionale Verstärkung der Schutzwände. Aus diesem Grunde ist es zweckmäßiger, die Erzielung großer Dosen durch Konstruktion von Röntgenröhren mit hoher Strombelastbarkeit zu erreichen als durch Steigerung der Spannung. Der letztere Weg sollte erst dann beschritten werden, wenn klar bewiesen ist, daß den kurzwelligen Strahlen eine spezifisch größere biologische Wirksamkeit zukommt.

Untersucht man die Schwächung ein und derselben homogenen Strahlung in gleich dicken Schichten verschiedener Stoffe, so findet man, daß der Schwächungskoeffizient ungefähr proportional mit der dritten Potenz der Atomzahl[2]) und der Dichte ansteigt. Da der Einfluß der Atomzahl ein viel größerer ist als der der Dichte, so wird man zur Herstellung von Strahlenschutzwänden Stoffe mit großer Atomzahl oder, was praktisch dasselbe bedeutet, mit hohem Atomgewicht verwenden, um bei kleiner Schichtdicke eine möglichst starke Schwächung der Strahlungsintensität zu erreichen. Bei einer stark gefilterten Therapiestrahlung hat man z. B. bei Verwendung von Eisen an Stelle von Blei eine etwa 30mal so große Dicke zu nehmen; statt der üblichen 5 mm Bleiwand würde man also Eisenplatten von 15 cm Dicke einbauen müssen, um gleiche Schutzwirkung zu erhalten.

Aus dem Absorptionsgesetz ergibt sich noch eine weitere praktisch wichtige Folgerung: die Schwächung der Strahlung in einer Schutzwand nimmt nicht proportional mit der Dicke zu. Verstärkt man eine Schutzwand auf das Doppelte, so nimmt die Schutzwirkung viel mehr als um das Doppelte zu. Die Berechnung erfordert in jedem einzelnen Falle die Kenntnis des Schwächungskoeffizienten der Strahlung in dem betreffenden Stoffe. Für die zur Zeit üblichen gefilterten Tiefentherapiestrahlungen (200000—220000 Volt Spannung an der Röhre, 1-mm-Cu-Filter) ist der Schwächungskoeffizient in Blei im Mittel $\mu = 45$ (Berthold).

Zum praktischen Gebrauch des Absorptionsgesetzes ist in Tabelle 1 eine Reihe von Zahlenwerten für die sog. Exponentialfunktion angegeben.

---

[1]) Im ganz kurzwelligen Gebiete entspricht die Zunahme des Schwächungskoeffizienten nicht mehr ganz der dritten Potenz der Wellenlänge, weil die Streuung gegenüber der reinen Absorption merklich wird und weil die Streuung sich nur wenig mit der Wellenlänge ändert. Die Abweichungen von dem oben angegebenen Gesetze sind um so kleiner, je hochatomiger der betreffende Stoff ist.

[2]) Atomzahl heißt die Zahl, welche die Stellung jedes Elementes im periodischen System angibt.

Tabelle 1.

Zahlenwerte der Exponentialfunktion	
μD	$e^{-\mu D}$
0,1	0,9
0,2	0,82
0,4	0,67
0,7	0,50
1,0	0,37
1,3	0,27
1,6	0,20
1,9	0,15
2,2	0,11
2,5	0,08
3	0,05
4	0,018
5	0,007
6	0,0025

μD = Schwächungskoeffizient × Dicke

$e^{-\mu D} = \frac{J}{J_0} =$ Bruchteil der durch die Schicht hindurchdringenden Strahlungsintensität, bezogen auf die auffallende Intensität

Zur Erläuterung der Tabelle 1 diene folgendes Beispiel: Wie stark nimmt die Schutzwirkung einer Wand von 2 mm Blei bei Verdoppelung des Bleibelages zu, wenn der Schwächungskoeffizient der Strahlung $\mu = 15$ ist? Da in Gl. 1 die Dicke D immer in Zentimetern ausgedrückt werden muß, so ist

für die 2 mm dicke Wand $\mu D = 15 \cdot 0{,}2 = 3$, also $e^{-\mu D} = 0{,}05$,
„ „ 4 „ „ „ $\mu D = 15 \cdot 0{,}4 = 6$, „ $e^{-\mu D} = 0{,}0025$.

Von der auftreffenden Intensität geht durch 2 mm Blei der 0,05te Teil, d. h. 5%, hindurch, während durch 4 mm Blei nur $^1/_4$% hindurchgelangt. Die Verdoppelung der Schutzwand bewirkt somit eine Erhöhung der Schutzwirkung auf das 20fache, ein überraschend günstiges Resultat.

Da keine technische Röntgenstrahlung so streng homogen ist, daß sie bei einer Intensitätsabnahme auf Bruchteile eines Prozentes genau der Gl. 1 folgt, so weicht die Wirklichkeit ein wenig von dem Ergebnis des Rechenbeispiels ab. Messungen von Berthold an einer mit 220000 Volt Spannung erzeugten, mit 1 mm Kupfer gefilterten Therapiestrahlung ergeben hinter 2 mm Blei 0,38%, hinter 4 mm Blei 0,028% der ursprünglichen Intensität. Die Erhöhung der Schutzwirkung infolge Verdoppelung des Bleibelages beträgt somit das 14fache, also etwas weniger, als die Berechnung ergeben hatte.

Für viele Zwecke ist aber doch die Berechnung von Nutzen, weil sie rasch ohne umständliche Versuche über die Wirksamkeit von Änderungen an den Strahlenschutzeinrichtungen eine orientierende Auskunft gibt, wenigstens insoweit, als es sich um die Abschirmung von direkter Strahlung handelt.

Bei jeder Strahlenschutzanlage muß nämlich außer der direkten auch die indirekte Bestrahlung verhütet werden. Die Kenntnis der Gesetze der Sekundärstrahlung ist deshalb in mannigfacher Hinsicht von Vorteil, und immer wieder sollte die alte Erfahrung in die Erinnerung gebracht werden, daß jeder von Röntgenstrahlen getroffene Stoff selbst wieder Röntgenstrahlen aussendet.

Von den drei verschiedenen Arten von Sekundärstrahlung:

1. sekundäre Kathodenstrahlung (Emission von Elektronen),
2. charakteristische Eigenstrahlung,
3. zersteruet Strahlung

kommen nur die beiden letztgenannten Arten hier in Betracht. Die Eigenstrahlung eines Stoffes wird nur von bestimmten Spektralbezirken der auffallenden Strahlung angeregt. Um die Eigenstrahlung des Bleies zu erregen, muß die Röntgenröhre mit mindesten 90000 Volt betrieben werden, während für Barium schon eine Spannung von 40000 Volt genügt. Die Erregung ist dann eine besonders starke, wenn die Hauptintensität der von der Röhre ausgesandten Strahlung in dem charakteristischen Spektralbezirk liegt. Eine mit 2 mm Kupfer gefilterte Tiefentherapiestrahlung erregt z. B. die Bariumeigenstrahlung weniger als bei Filterung mit $^1/_2$ mm Kupfer. Die Eigenstrahlung jedes Stoffes ist praktisch homogen und hat eine für jedes Element charakteristische Härte. Die Halbwertschicht in Aluminium beträgt bei der Bleistrahlung etwa 12 mm, bei der Bariumstrahlung 3 mm.

Die zerstreute Strahlung ist in bezug auf die Härte und Strahlungszusammensetzung[1]) identisch mit der ursprünglichen Strahlung: der Vorgang der Zerstreuung kann aufgefaßt werden als eine einfache Richtungsänderung der Strahlung infolge Beugung an den Elektronen der Atome. Die Stärke der Streuwirkung ist in der Richtung der ursprünglichen Strahlung am größten und senkrecht hierzu am kleinsten. Die Größe des Streuungskoeffizienten, der in ähnlicher Weise definiert wird wie der Schwächungskoeffizient durch Gl. 1, wechselt von Stoff zu Stoff und hängt von der Härte der Röntgenstrahlen ab; er nimmt im allgemeinen mit dem Atomgewicht eines Elementes zu und mit der Wellenlänge der Strahlung ab. Doch ist der Gang mit der Wellenlänge viel geringer als beim Schwächungskoeffizienten.

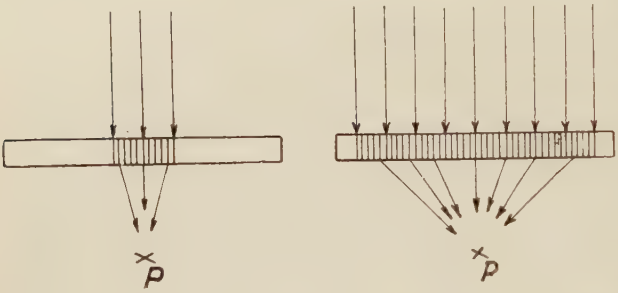


Abb. 1. Streustrahlung bei engem und weitem Bestrahlungsfeld.

Wie ist diese Abnahme des Streuungskoeffizienten mit der Wellenlänge zu vereinen mit der bekannten Beobachtung, daß bei Spannungssteigerung, d. h. also beim Übergang zu immer kurzwelligeren Strahlungen, sich im Röntgenbetrieb die Streuung des Bodens, der Wände usw. immer stärker bemerkbar macht? Es ist zu unterscheiden zwischen der in einer dünnen Schicht eines Körpers entstehenden Streustrahlung (Streuungskoeffizient) und der aus einem ausgedehnten Körper austretenden Streustrahlung (Streuung des Körpers). Von der in einem Körper entstehenden zerstreuten Strahlung tritt stets nur ein kleiner Bruchteil aus, weil die Streustrahlen im Körper selbst eine Absorption erleiden. Bei großen Härtegraden nimmt zwar die in einer dünnen Schicht des Körpers entstehende Streustrahlung ab; aber infolge der größeren Härte der Primärstrahlung und der Streustrahlungen können viel tiefer gelegene Schichten noch merkliche Beiträge zu der aus dem Körper austretenden Streustrahlung liefern, und die Streuung des Körpers nimmt daher zu.

Nicht bloß für die Anlage von Röntgenschutzhäusern, sondern auch für die Beurteilung von Röntgenschutzstoffen ist die Berücksichtigung der Streuung von Wichtigkeit. Läßt man auf die Wand vor dem Beobachter P in Abb. 1 ein enges Strahlen-

[1]) Die neueren Versuche von Compton u. a., welche eine geringe Änderung der Strahlungsqualität beim Zerstreuungsvorgang ergeben haben, kommen hier praktisch nicht in Betracht.

bündel auffallen, so gelangt weniger Streustrahlung von der Wand nach P als bei Verwendung eines weit geöffneten Bündels. Aus meßtechnischen Gründen ist es üblich, die Schutzstoffe im Laboratorium mit engen Strahlenbündeln zu prüfen, während bei der praktischen Verwendung später die ganze Oberfläche bestrahlt wird. Wie die Untersuchungen von Berthold erstmals gezeigt haben[1]), erhält man auf diese Weise zu günstige Werte für die Schutzwirkung.

III. Messungen der Schutzwirkung verschiedener Stoffe.

Jede Absorptionsmessung bei Verwendung sehr harter Strahlen hat mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß die vom Boden, von den Wänden und von den Gegenständen des Untersuchungsraumes ausgehende intensive Sekundärstrahlung in das Meßgerät gelangt. Bei der Prüfung von Röntgenschutzstoffen liegen die Verhältnisse noch besonders ungünstig; die zu messende Strahlungsintensität ist durchschnittlich nur ein Tausendstel der auffallenden Intensität. Eine anschauliche Vorstellung von der Wirkung der Sekundärstrahlung erhält man durch folgenden Versuch: Auf eine photographische Platte wird ein mehrere Zentimeter dicker Messingblock aufgelegt, der im Innern Bohrlöcher verschiedener Weite enthält. Mit 200000 Volt Spannung wird eine Viertelstunde exponiert und dann in bekannter Weise entwickelt. Die Platte ist überall gleichmäßig schwarz, und von den Bohrlöchern ist keine Spur zu sehen. Die rückwärts auf die Platte auftreffende Sekundärstrahlung des Zimmerbodens ist nämlich intensiver wie die direkte beim Durchgang durch den Block stark geschwächte Strahlung. Eine Wiederholung des Versuches nach seitlicher und rückwärtiger Umhüllung des Stückes mit 5 mm Bleiblech beweist die Richtigkeit dieser Erklärung. Es ist also eine Grundbedingung jeder Absorptionsuntersuchung bei sehr harter Strahlung, daß das Meßgerät durch eine allseitige Umhüllung mit einer genügend dicken Bleischicht gegen störende Sekundärstrahlung von seiten der Umgebung geschützt wird.

Die Strahlenschutzwirkung eines Stoffes kann auf verschiedene Weise geprüft werden. Entweder wird für verschiedene Schichtdicken photographisch oder iontometrisch gemessen, wieviel Prozent der ursprünglichen Strahlungsintensität noch vorhanden sind, oder es wird nach Walter die Dicke der Bleischicht ermittelt, welche die Strahlung in gleichem Maße schwächt. Diese Methode der Bestimmung der „äquivalenten Bleidicke" hat Vorzüge prinzipieller und meßtechnischer Art; insbesondere erübrigt sich eine photometrische Ausmessung der photographischen Platten.

Sollen für Schutzstoffe mit anderen wirksamen Elementen als Blei, z. B. für Barytstein, die äquivalente Bleidicke bestimmt werden, so ergeben sich nach Franke verschiedene Werte, je nach der Dicke der zur Messung benutzten Schichten; z. B. sind bei einer Strahlung von 200000 Volt Spannung 7,5 mm Baryt = 1,1 mm Blei und 60 mm Baryt = 4,2 mm Blei. Franke fordert daher mit Recht, daß bei jeder Schutzstoffmessung die Bestimmung der äquivalenten Bleidicke an einer solchen Schichtdicke des Schutzstoffes vorgenommen wird, wie sie später im Betriebe verwendet wird, und daß eine Angabe[2]) über die zur Prüfung benutzte Strahlungshärte beigefügt wird. Im vorliegenden Falle würde man auf Grund der Messung der äquivalenten Bleidicke für 7,5 mm Baryt und

[1]) Vgl. hierzu Teil II.

[2]) Das Verhältnis der Schutzwirkung ist wegen der verschiedenen spektralen Lage der selektiven Absorptionsstelle des Bleies und des Bariums außerdem noch von der Strahlungsqualität abhängig.

Umrechnung auf die in der Praxis übliche Dicke von 60 mm zu der ganz falschen Vorstellung kommen, daß 60 mm Barytstein 9 mm Blei entsprechen.

Eine Versuchsanordnung für photographische Bestimmungen der äquivalenten Bleidicke ist in Abb. 2 schematisch dargestellt (Berthold).

In einen Bleiklotz von 10 mm Wandstärke wurde eine Kassette für 12 × 75 mm Platten eingeführt und die seitliche Öffnung sodann ebenfalls mit 10 mm Blei verschlossen. Auf der Oberseite des Klotzes befand sich ein Fenster von trichterförmiger Gestalt, um bei Verwendung großer Bestrahlungsfelder die vom Untersuchungskörper S ausgehende Sekundärstrahlung aufnehmen zu können. Die größte Feldgröße war ein Kreis von 36 cm Durchmesser auf der Oberfläche des Untersuchungskörpers bei dem aus Abb. 2 ersichtlichen Plattenabstand. Bei B_2 wurde zu Vergleichsmessungen mit engem Strahlenbündel ein 5 mm dickes Bleiblech mit kreisförmiger Bohrung eingelegt.

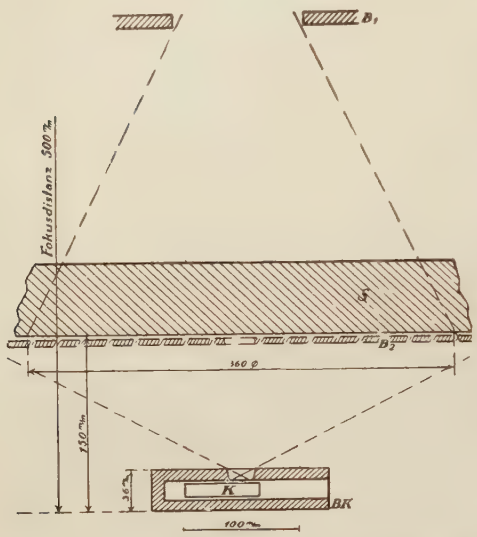


Abb. 2. Anordnung zur photographischen Prüfung von Schutzstoffen.

Bei iontometrischen Messungen ist die Abschirmung des Meßgerätes mit größeren Schwierigkeiten verknüpft. Am geeignetsten sind die Meßgeräte, bei denen die Ionisationskammer und der Meßraum, in dem sich das die Ionisation anzeigende Organ (Faden oder Blättchen des Elektrometers) befindet, eine Einheit bilden. Iontometer mit kleiner Ionisationskammer und großem Meßraum, beide durch eine schlauchartige Leitung verbunden, sind weniger geeignet, weil hier die Wirkungsmöglichkeiten der Sekundärstrahlung viel größer sind als für die zu messende primäre Strahlung.

Bei den Messungen von Berthold wurde eine große Ionisationskammer von 30 cm Durchmesser und 40 cm Länge verwendet, welche unter der Türöffnung des Schutzhauses aufgestellt und außerdem mit 8 mm Blei gegen primäre und mit 5 mm Blei gegen sekundäre Strahlung abgedeckt wurde. Die Ergebnisse der photographischen und iontometrischen Messungen stimmten sehr gut überein[1]).

Bei der Messung mit engem Strahlenbündel — Größe des Bestrahlungsfeldes auf der Oberfläche des Untersuchungskörpers 5 qcm — ergaben sich folgende Verhältniszahlen für die Schutzwirkung gegenüber sehr harter Therapiestrahlung (180000 bis 220000 Volt Spannung an der Röhre):

Tabelle 2. Verhältniszahlen der Schutzwirkung.

Blei	Bleigummi	Bleiglas	Barytstein (60 mm dick)
1	3	8,5—10	13,5

Um die Schutzwirkung von 3 mm Blei zu erreichen, ist bei Bleigummi eine Dicke von 9 mm erforderlich. Die Absorption des Bleiglases[2]) war von Stück zu Stück etwas ver-

[1]) Dies war von vornherein nicht zu erwarten, da die photographische Wirkung der Röntgenstrahlen sich möglicherweise in anderer Weise mit den Wellenlänge ändert wie die Ionisationswirkung.

[2]) Von C. H. F. Müller, Hamburg, geliefert.

schieden; im Mittel entspricht einer Bleiglasschicht von 18—20 mm Dicke ein Bleiblech von 2 mm.

Kennt man die Schwächung der Strahlungsintensität in Prozenten für Blei (vgl. Teil I), so kann man mit Hilfe der Tab. 2 sofort angeben, wie groß die durch Bleiglas, Bleigummi, Barytstein hindurchgehende Strahlungsintensität ist (Tab. 3).

Tabelle 3. Schwächung der Primärstrahlung (220000 Volt, 1-mm-Cu-Filter)

durch 3 mm Bleigummi auf 2,2% der ursprünglichen Intensität,
„ 18 „ Bleiglas „ 0,45 bis 0,26% der ursprünglichen Intensität,
„ 36 „ Bleiglas „ 0,04 bis 0,026% der ursprünglichen Intensität,
„ 60 „ Barytstein „ 0,02% der ursprünglichen Intensität.

Wie schon am Schlusse des Teiles I erwähnt wurde, ist die tatsächliche Schutzwirkung der Stoffe kleiner, als sie sich im Laboratoriumsversuch unter Verwendung enger Strahlenbündel ergibt. Die in Abb. 2 gezeichnete Anordnung ermöglichte es, einen großen Teil der vom Untersuchungskörper ausgehenden Streustrahlung mitzumessen und so die Verhältnisse der Praxis zu reproduzieren. Nach Wegnahme der Blende B_2 betrug das Bestrahlungsfeld auf der Oberfläche des Probekörpers rund 1000 qcm. Die Schutzwirkung ist jetzt nur noch etwa die Hälfte.

Tabelle 4. Verhältnis der Schutzwirkungen bei großem Feld zu der bei kleinem Feld.

Blei . . .	4 mm	1 : 1,6,
Bleiglas . .	36 „	1 : 1,7,
Barytstein	60 „	1 : 2,1.

Die äquivalente Bleidicke zu 60 mm Barytstein ist bei großem Feld 4,1 mm gegenüber 4,4 mm bei kleinem Feld (enges Strahlenbündel). Die Verhältniszahl für die Schutzwirkung von Blei und Barytstein ist nunmehr 1 : 15 gegenüber 1 : 13,5 in Tab. 2. Die Messungen zeigen, daß das bisher geübte Verfahren der Schutzstoffprüfung, Messung im Versuch mit engem Strahlenbündel und Übertragung des Resultates auf die praktischen Verhältnisse, bei denen eine ausgedehnte Fläche des Schutzstoffes bestrahlt wird, nicht angängig ist.

Für die Beurteilung des röntgenstrahlengefährdeten Umkreises eines Therapiebetriebes ist es unerläßlich, die Absorptionswirkung der Zimmerwände und des Zimmerbodens zu kennen. Zu diesem Zwecke wurden von dem Verf. zusammen mit Berthold Messungen an Probewänden angestellt, die aus verschiedenen Baustoffen aufgeführt waren.

Aus Stampfbeton (Mischungsverhältnis Zement: Kies = 1 : 10) wurde ein Probekörper mit den Abmessungen 25 × 25 × 50 cm hergestellt. Die Schwächung der Strahlung in diesem 25 cm dicken Betonblock entsprach bei engem Bestrahlungsfeld einer 5,3 mm dicken Bleischicht, während bei weitem Bestrahlungsfeld die äquivalente Bleidicke nur 4,2 mm betrug. Da der Beton aus leichtatomigen Elementen besteht und da das bestrahlte Volumen viel größer ist wie beim Blei, so ist es verständlich, daß die Streustrahlung beim Übergang vom engen zum weiten Felde beim Betonkörper einen größeren Bruchteil der direkt hindurchgehenden Strahlung ausmacht wie beim Blei: die Folge davon ist, daß die Schutzwirkung des Betonblockes relativ zu der des Bleibleches mit zunehmender Größe des Bestrahlungsfeldes kleiner wird, da die Intensität hinter Beton mehr zunimmt als hinter Blei.

Da die Dichte des Betons je nach dem Zementgehalt schwankt, so wird man für die Praxis mit der angenäherten Beziehung

25 cm Beton = 4 mm Blei

rechnen.

Zur Prüfung der Absorption von Backsteinwänden wurden durch Aufeinanderschichten von Ziegelsteinen (Größe 6,5 × 12,5 × 25 cm) Probewände mit den Dicken 25 cm (entsprechend einer Wand aus einem Stein), 32,5 cm und 50 cm (entsprechend einer Mauerstärke von zwei Steinen) hergestellt, wobei die Fugen der Steine gegenseitig versetzt wurden.

Das Verhältnis der Dicken mit gleicher Schutzwirkung ergab sich zu

Blei: Ziegelstein = 1 : 80 bei engem Feld,
= 1 : 110 bei weitem Feld.

In der Praxis is talso die Schutzwirkung einer Mauerstärke von 50 cm = der einer Bleiwand von 4,5 mm Dicke.

Die Schutzwirkung der Ziegelsteine ist wesentlich geringer als die des Betons. Außer in der Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung liegt der Grund für dieses unterschiedliche Verhalten in den zahlreichen kleinen Hohlräumen im Inneren der Ziegelsteine. Nach den Untersuchungen des Materialprüfungsamtes in Lichterfelde beträgt der Gehalt an Hohlräumen bei guten Ziegelsteinen rund 30% des Volumens.

Bei Fachwerkswänden kann von einer definierten Strahlenschwächung nicht gesprochen werden, da an den Stellen der Holzbalken die Durchlässigkeit stets größer ist als in den gemauerten Füllungen.

An und für sich ist die Schutzwirkung einer gewöhnlichen Wand aus Beton oder Ziegelsteinen überraschend groß. Es darf dabei aber nicht übersehen werden, daß die Schutzwirkung[1]) nur von dem Produkt (vgl. Gl. 1)

Schwächungskoeffizient × Dicke

abhängt und daß die große Dicke der Wände die geringe spezifische Absorption der Baustoffe ausgleicht. In den Kreisen der Röntgenologen findet sich häufig die unrichtige Anschauung, daß alle bleihaltigen Stoffe Sicherheit vor Strahlung gewähren und daß die leichtatomigen Stoffe, wie Zement, Steine usw., in beliebig dicken Schichten für die Strahlung absolut durchlässig seien.

In einer Klinik war z. B. die Belegung einer 50 cm dicken Betonwand mit 3 mm Blei geplant, weil in dem Nebenraum merkliche Röntgenstrahlung nachgewiesen werden konnte. Diese Verstärkung war unnötig, da ja 50 cm Beton Schutzwirkung einer 8 mm dicken Bleiwand gleichkommt. Dagegen fand sich in der Betonwand ein Bleiglasfenster von 4 mm Dicke, das einer Bleischicht von höchstens $^1/_2$ mm Blei entspricht, und hier hatte die Verstärkung einzusetzen.

IV. Strahlenschutzeinrichtungen und Anlage von Röntgenabteilungen.

Die besonders große Gefährdung des Personals in Röntgentherapie-Instituten beruht auf drei Faktoren:

1. großes Durchdringungsvermögen der erzeugten Strahlung;
2. starke Sekundärstrahlung;
3. große Strahlungsintensität.

Zum dritten Punkte ist erläuternd zu bemerken, daß die von einer Röntgenröhre ausgesandte Strahlenintensität bei gleicher Stromstärke proportional mit dem Quadrat der Spannung zunimmt. Die im Tiefentherapiebetrieb erzeugte Strahlungsintensität

[1]) Abgesehen von der in der Schicht des Stoffes entstehenden Sekundärstrahlung.

ist durchschnittlich 10—20mal größer als beim diagnostischen Arbeiten. Dazu kommt daß die Zeitdauer der Röhrenbenutzung im letzteren Falle viel kleiner ist.

Für die technische Ausführung von Strahlenschutzeinrichtungen sind zwei Gesichtspunkte zu beachten:

1. Abschirmung der direkten **und** der indirekten Strahlen;
2. Gleichmäßigkeit der Schutzwirkung an allen Stellen des zu schützenden Raumes.

Wie im I. Teile bereits erwähnt wurde, ist die Sekundärstrahlung des Bodens und der Zimmerwände um so intensiver, je härter die von der Röntgenröhre erzeugte Strahlung ist. Eine einfache, einige Quadratmeter große Schutzwand ist in Betrieben, in

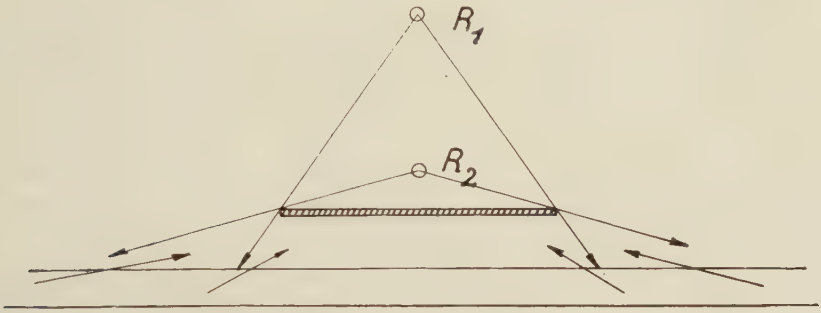


Abb. 3. Einfluß der Stellung der Schutzwand.

denen mit 200000 Volt Spannung gearbeitet wird, ein ganz und gar unzulänglicher Schutz. Nicht bloß im Interesse des Personals, sondern auch im eigensten Interesse des verantwortlichen Institutsleiters ist zu hoffen, daß die Zeiten endgültig vorüber sind, in denen dieses dürftige Schutzmittel als ausreichend angesehen wurde. Nach dem gegenwärtigen Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis würde im Falle einer Röntgenschädigung des Personals die Haftpflichtfrage wohl kaum verneint werden

Abb. 4. Strahlensichere Befestigung von Bleiplatten.

können, solange nicht Schutzmittel vorhanden sind, um auch eine Gefährdung durch Sekundärstrahlung zu verhüten.

In Instituten mit leichter Therapie kann eine einfache Schutzwand Verwendung finden, wenn sie so aufgestellt ist, daß möglichst wenig Sekundärstrahlung in den zu schützenden Raum gelangen kann. Die gefährliche Sekundärstrahlung wird um so kleiner, je breiter und höher die Schutzwand ist, je kleiner ihre Entfernung von der Zimmerwand ist und je näher die Röhre vor der Schutzwand angebracht ist (Abb. 3).

Die beste Lösung des Strahlenschutzproblemes bietet das erstmals von Albers-Schönberg vorgeschlagene allseitig geschlossene Schutzhaus. Beim Vorhandensein dicker Beton- oder Ziegelsteinwände können diese ohne Verstärkung mit benützt werden, indem die Ecke eines Zimmers als Schutzhaus ausgebildet wird. Als Unterlage für den

Bleibelag wird zweckmäßig eine Holzverschalung verwendet. Zur Befestigung dienen Schrauben oder starke Nägel; da Eisen viel durchlässiger ist wie Blei, so müssen diese mit besonderen Kappen aus Blei bedeckt werden. Eine einfache Kappe (Abb. 4) wird dadurch hergestellt, daß der Nagel durch die eine Hälfte eines Bleistreifens hindurchgeschlagen wird und daß dann die andere Hälfte über dem Nagelkopf umgebogen wird. Daß beim Aneinanderfügen der Bleiplatten eine gegenseitige Überdeckung stattfindet, ist unerläßlich.

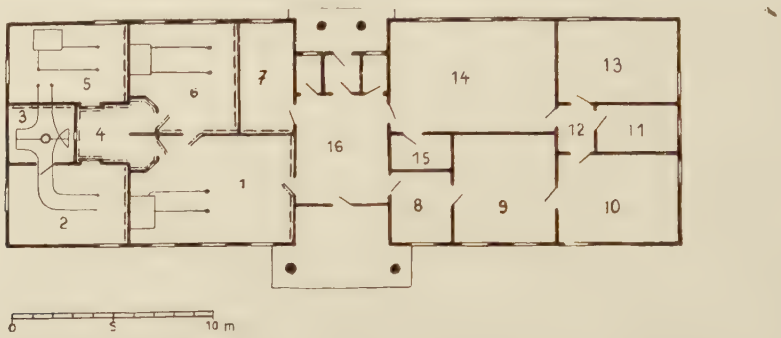


Abb. 5. Grundriß des Röntgenlaboratoriums an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Bei Verwendung von Barytsteinen (Kämpe-Lorey-Platten) mit den Abmessungen $3 \times 25 \times 50$ cm oder $6 \times 25 \times 50$ cm wird eine Spaltbildung dadurch vermieden, daß die Platten mit keilförmigen Fugen ineinander hineingreifen. Barytsteinwände können als freitragende Wände aufgemauert werden; als Bindemittel dient eine Mischung von Barytpulver und Zement. An Stelle von Gipsputz ist der besseren Haltbarkeit wegen ein Zementputz zu verwenden. Wegen des großen Gewichtes der Barytplatten ist auf genügende Tragfähigkeit des Bodens bzw. auf breite Fundamente zu achten.

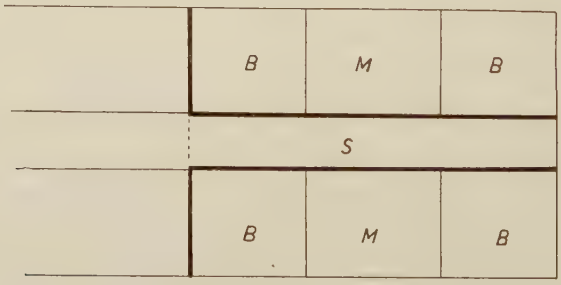


Abb. 6. Schematische Raumanordnung eines medizinischen Röntgeninstitutes.

Eine moderne Röntgenschutzanlage zeigt Abb. 5, welche den Grundriß des Röntgenlaboratoriums an der Techn. Hochschule in Stuttgart enthält. Beim Bau des Institutes im Jahre 1921 handelte es sich um die Aufgabe, die Schaltstellen von vier modernen Röntgenapparaten strahlensicher anzuordnen und gleichzeitig dafür zu sorgen, daß die in einem Röntgenraum vorgenommenen Messungen nicht durch die Strahlungen der Röhren in den anderen Räumen gestört werden. Durch Vereinigung der vier Schaltstellen in einen einzigen, zentral gelegenen Raum

wird eine wesentliche Kostenersparnis erzielt und außerdem eine sehr einfache Betriebsüberwachung ermöglicht.

Um die Zentralschaltstelle liegen ringsherum die vier Röntgenräume (a, b, c, f und der Maschinenraum e). Der Strahlenschutz des Raumes d besteht aus einem allseitig 5 mm dicken Bleibelag, der vom Zimmerboden bis zur Zimmerdecke sich erstreckt. In den Türen, welche teils als Klapp-, teils als Schiebetüren ausgebildet sind, befinden sich Beobachtungsfenster, welche mit zwei Bleiglasscheiben von je 20 mm Dicke verschlossen sind. Trotz der beträchtlichen Dicke der Bleiglasschicht können die Teilstriche des Milliamperemeters auf mehrere Meter Entfernung hin sicher abgelesen werden. Die Wände zwischen den einzelnen Röntgenräumen sind mit 6 cm dicken Barytsteinen belegt. Den Abschluß gegen die Mittelhalle des Institutes bildet eine von den Fundamenten bis zum Dach reichende große Barytmauer, die bei a eine mit 5 mm Blei gesicherte Türe enthält; das Institut wird dadurch in zwei Teile zerlegt, in einen röntgenstrahlengefährdeten Teil, welcher die eigentlichen Röntgenlaboratorien umfaßt, und einen röntgenstrahlensicheren Teil (Vorstandszimmer, Assistentenzimmer, Sammlung, Werk-

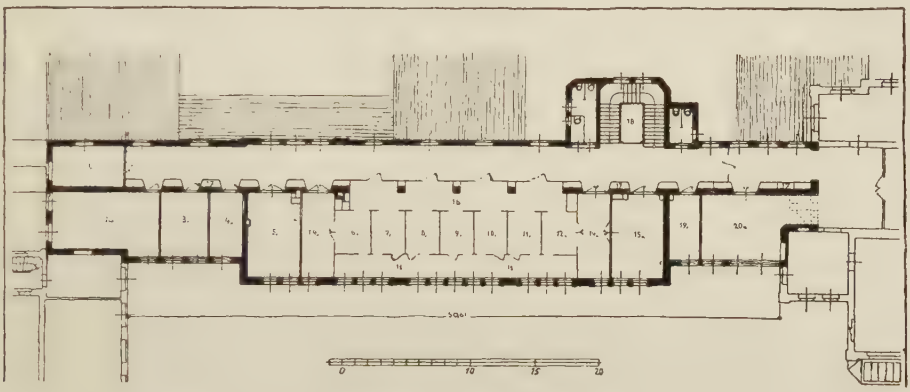


Abb. 7. Grundriß der Therapieabteilung der Chirurgischen Univ.-Klinik Leipzig.

statt, Dunkelkammer usw.). Die Ventilationseinrichtungen zur Beseitigung der Röntgengase bestehen in einem an der Decke des Schutzhauses d befindlichen Ventilator, der aus einem Luftschacht vom Dache her Luft ansaugt, und aus verschiedenen Ventilatoren in den einzelnen Röntgenräumen, welche Luft nach außen absaugen. Dadurch, daß frische Luft in das Schutzhaus eingeblasen wird, wird ein Eindringen der Röntgengase in das Schutzhaus vermieden. Die absaugenden Ventilatoren in den Röntgenräumen sind nicht, wie üblich, an der Decke, sondern am Fußboden angebracht, da die Röntgengase schwerer als Luft sind und sich in den unteren Luftschichten ansammeln.

Für ein medizinisches Röntgeninstitut ist die ringförmige Gruppierung der Bestrahlungsräume um einen zentralen Schutz- und Schaltraum herum nicht zweckmäßig, weil das Heranbringen der Kranken außerordentlich erschwert ist. Man wird lieber eine Anordnung der in Abb. 6 gezeichneten Art wählen, bei der der Gang als Zentralschaltstelle ausgebildet ist. Die räumliche Trennung je zweier Bestrahlungsräume B durch den gemeinsamen Maschinenraum M macht einen Strahlenschutz zwischen ihnen entbehrlich. Zu schützen sind nur die beiden Wände der Schaltstelle S und evtl. die Trennwände zwischen den Räumen B und den anderen Zwecken dienenden Nachbarräumen, falls die Mauern (25 cm Beton oder 50 cm Ziegelsteinwand) nicht schon genügen. Dies ist meist der Fall, wenn die Röntgenstation sich im Untergeschoß eines

großen Gebäudes befindet. Die Unterbringung im Untergeschoß, genügende Stockhöhe vorausgesetzt, bietet den weiteren Vorteil, daß eine Abschirmung der Strahlung nach unten unnötig ist. Inwieweit über den Therapiezimmern gelegene Räume geschützt werden müssen, hängt von der Dicke und dem Material der Zimmerdecke sowie von der Dauer der Benutzung dieser Räume ab.

Als Beispiel eines vorbildlich eingerichteten medizinischen Röntgeninstitutes ist in Abb. 7 der Grundriß der neuerbauten Therapieabteilung der Chirurgischen Universitätsklinik Leipzig dargestellt[1]). Der durch halbhohe Wände (Abb. 8) aus Kämpe-Lorey-Platten in 7 Boxen unterteilte Bestrahlungsraum (6—12 in Abb. 7) ist beiderseits umgeben von dem Maschinenraum 16 und dem 17 m langen Bedienungsgang. 13., auf dem sich die Schalttische befinden (Abb. 9). Das Problem, sowohl den Bedienungsplätzen als auch den Bestrahlungsboxen eine direkte Zuführung von Luft und Licht zu verschaffen, wurde in geschickter Weise dadurch gelöst, daß die Decke des Bedienungsganges niederer ist als die des Bestrahlungsraumes: Oberhalb dem Tonnengewölbe des Bedienungsganges befinden sich große Stellfenster zur Licht- und Luftzuführung für die Bestrahlungsboxen. Die Abschirmung der Therapieräume gegen die Umgebung ist nach allen Richtungen mit großer Sorgfalt durchgeführt worden. Der Betonboden und die Betondecke des Therapieraumes wurde mit einer 10 cm hohen Schicht gestampften Schwerspats bedeckt. Die Seitenwände bestehen aus 6 cm dicken Barytsteinwänden (Kämpe-Lorey-Platten), während die weniger wichtige Trennwand zwischen Bestrahlungs- und Maschinenraum durch einen doppelseitigen Verputz aus Schwerspatzement geschützt ist. Der Zutritt zu den Bestrahlungsboxen erfolgt vom Bedienungsgang aus durch 6-mm-dicke Bleitüren mit Bleiglasfenstern. Die Hochspannungsdurchführungen sind ebenfalls strahlensicher ausgebildet; die Niederspannungsleitungen wurden in bleigefütterte Kanälen verlegt.

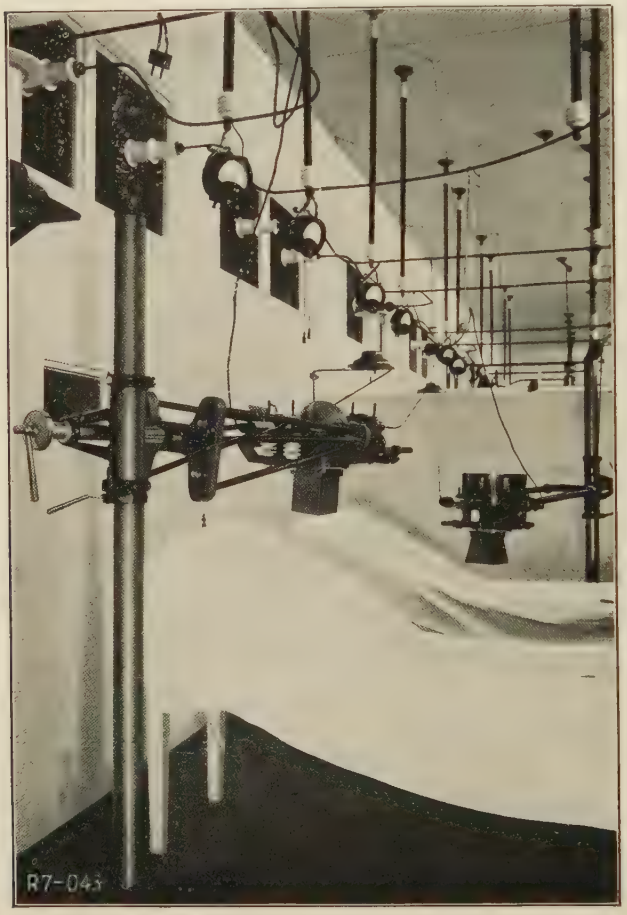


Abb. 8. Bestrahlungsraum der Therapieabteilung der Chirurgischen Univ.-Klinik Leipzig.

[1]) Die Abb. 7—9 wurden von Herrn Oberarzt Dr. Baensch in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

Bei der Anlage von Röntgenabteilungen können durch zweckmäßige Wahl der Räume Ersparnisse in bezug auf den Röntgenschutz gemacht werden. Ungünstig ist die Wahl eines mittleren Stockwerkes, welches einen Strahlenschutz nach oben und nach unten nötig macht. Gut geeignet ist z. B. eine Baracke. Steht eine solche nicht zur Verfügung, so sind Räume am Ende eines Ganges zu bevorzugen.

Die zweite Forderung „Gleichmäßigkeit der Schutzwirkung" wird in der Praxis häufig nicht beachtet, und zwar meist aus Unkenntnis über die Schutzwirkung der verschiedenen Stoffe. In einer Klinik war z. B. eine 6 cm dicke Barytwand mit 2 mm Blei belegt worden, während die Bleiglasfenster nur 18 mm dick waren. Die Schutzwirkung der Wand beträgt somit 4 + 2 = 6 mm Blei, die des Bleiglases höchstens 2 mm Blei. Die schwächste Stelle der Anlage ist also gerade dort, wo sich das Personl ständig aufhält.

Abb. 9. Bedienungsgang der Therapieabteilung der Chirurgischen Univ.-Klinik Leipzig.

Diese Beobachtung, daß die Bleiglasscheiben im Verhältnis zu der Dimensionierung der Baryt- oder Bleiwände ziel zu schwach gewählt werden, ist durchaus nicht vereinzelt. Beim modernen Therapiebetrieb müssen unbedingt zwei je etwa 20 mm dicke Bleiglasscheiben aufeinandergelegt werden, um eine genügende Strahlensicherheit zu erhalten.

Eine andere Lösung des Strahlenschutzes läßt sich dadurch erzielen, daß die Röntgenstrahlenquelle allseitig strahlensicher umschlossen wird; nur auf der dem Patienten zugekehrten Seite befindet sich eine Öffnung für den Austritt des Strahlenbündels. Die bisher verwandten Bleiglashauben gewähren in dieser Hinsicht nur einen geringen Schutz; ein großer Teil der Röntgenstrahlung kann ungehindert nach den Seiten und nach oben austreten. Dazu kommt, daß der Durchmesser der zur Zeit üblichen Bleiglashauben zu klein ist, um bei 8 Milliampere Belastung und 200000 Volt Spannung die entstehende Wärme abzuführen. Bei längerem Betrieb zerspringt entweder die Röhre oder der Bleiglastopf. Die allgemeine Einführung von Therapieröhren mit großer Strombelastbarkeit erfordert dringend eine baldige

Lösung dieser Schwierigkeiten. Es wird nicht zu vermeiden sein, der Röhrenhaube größere Abmessungen zu geben auf die Gefahr hin, daß im Bestrahlungsbetriebe mancherlei Unbequemlichkeiten entstehen. Es scheint überhaupt die Entwicklung dahin zu gehen, der Röhre nur noch eine beschränkte Einstellungsmöglichkeit zu geben und dafür durch entsprechende Ausbildung des Lagerungstisches die Einstellung durch Verschiebung des Patienten vorzunehmen.

Eine solche Anordnung ist in Deutschland zuerst von Siemens & Halske ausgeführt worden. In das Bestrahlungszimmer ragt ein langer weiter, mit Blei beschlagener Kasten nach Art eines Rüssels herein (Abb. 10), in dem sich die Röhre mitsamt den Hochspannungsleitungen befindet. Diese Konstruktion bietet den weiteren Vorteil, daß

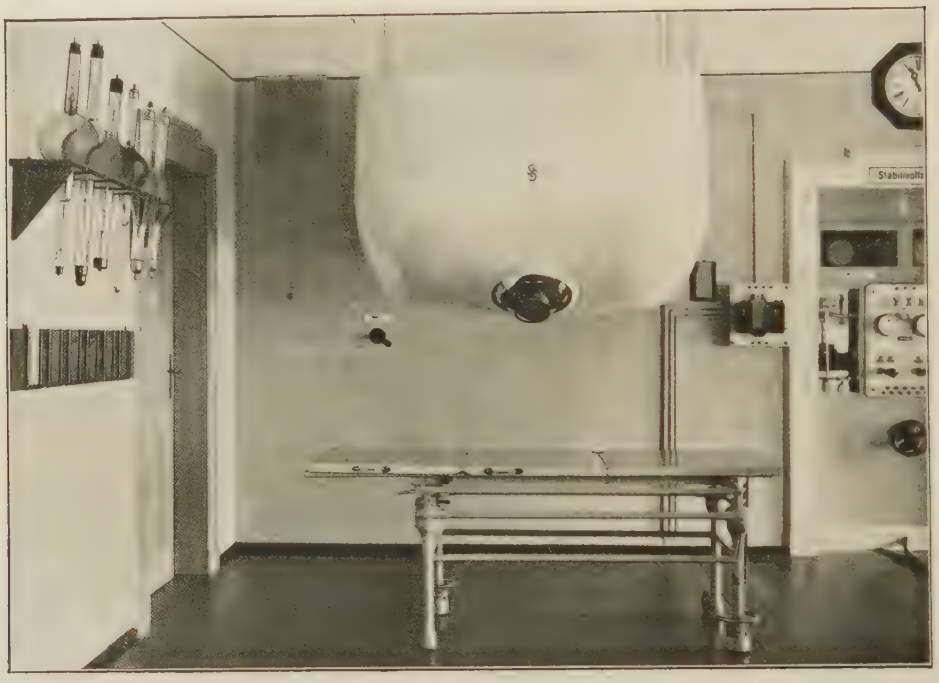


Abb. 10. Ansicht des Siemens-Bestrahlungskastens.

die Entstehung von Röntgengasen im Bestrahlungsraum und die Berührung der Hochspannungsleitungen unmöglich gemacht wird. Bei einer amerikanischen Anordnung ist die Röhre teilweise beweglich mit freiliegenden Hochspannungsleitungen. Die Röhre liegt in einem tonnenförmigen, mit Blei beschlagenen Kasten, der gedreht und geneigt werden kann. Bei einem von Reiniger, Gebbert und Schall nach Angabe von Prof. Wintz ausgeführten Stativ ähnlicher Art (Abb. 7) befindet sich die Röhre in einem Pertinaxrohr mit Bleigummiumhüllung, durch welches ständig ein Luftstrom geblasen wird. Bei der Verwendung strahlensicherer Bestrahlungsgeräte wird es im allgemeinen für zulässig gehalten, das Röntgenpersonal ohne weitere Schutzvorkehrungen im Bestrahlungszimmer unterzubringen. Dabei ist vor allem die Frage zu prüfen, ob nicht die im Körper des Patienten bei Großfelderbestrahlung entstehende Streustrahlung intensiv genug ist, um in der Umgebung des Patienten einen dauernden Aufenthalt des Röntgenpersonals zu verbieten. Nach ionometrischen Messungen von Glocker und Kaupp ist bei 210000 Volt Röhrenspannung und 4 MA. Stromstärke, 0,5 mm Cu-Filter, 35 cm

Fokusdistanz und 10 × 15 cm Feldgröße die aus dem bestrahlten Körper seitlich austretende Streustrahlung in 2 m Abstand von der Körpermitte ungefähr so groß, daß sie in 1000 Stunden ein Erythem erzeugen würde. Unter Zugrundelegung der in der Einleitung erwähnten Toleranzdosis von Mutscheller mit 20000 Stunden Erythemzeit muß die aus dem Körper des Patienten austretende Streustrahlung als nicht ungefährlich für das Röntgenpersonal bezeichnet werden. Es ist daher zu empfehlen, den Platz beim Schalttisch durch eine kleine Schutzwand gegen

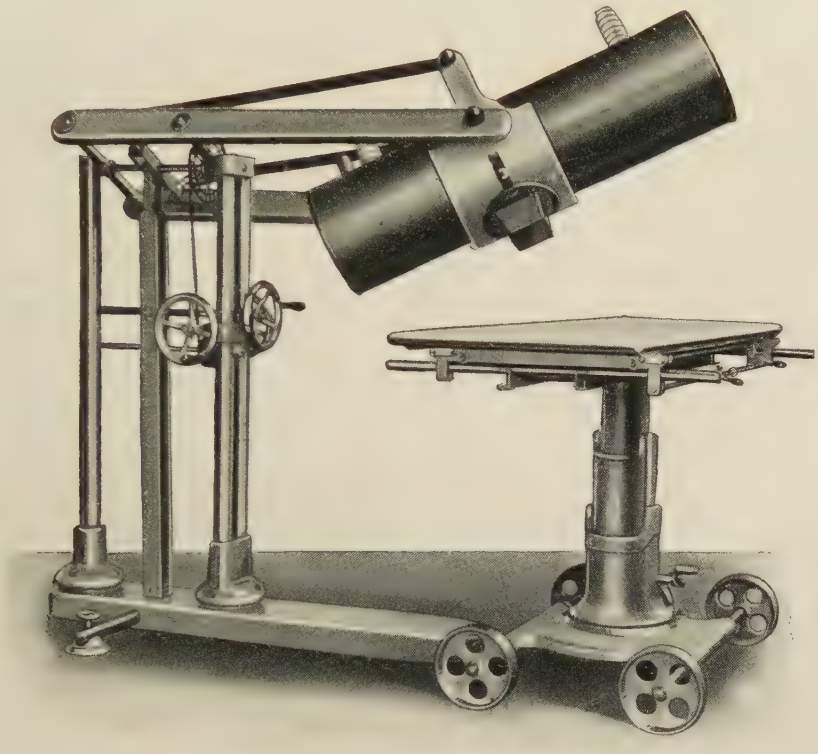


Abb. 11. Ansicht des Wintz-Bestrahlungsgerätes.

diese Streustrahlung zu schützen oder durch Bleigummiabdeckung des bestrahlten Körpers bzw. durch Anbringen von strahlenundurchlässigen abnehmbaren Seitenwänden am Bestrahlungstisch das Austreten der Streustrahlung zu verhindern.

Wer die Entwicklung der Röntgentechnik in den letzten Jahren aufmerksam verfolgt hat, muß den Eindruck gewinnen, daß nach der Vervollkommnung der Apparate und Röhren nunmehr die Ausgestaltung der Bestrahlungsgeräte und der Schutzvorrichtungen für das Röntgenpersonal in den Brennpunkt des Interesses gerückt sind.

Literaturverzeichnis.

Albers-Schönberg, Schutzvorkehrungen für Patienten, Ärzte und Fabrikanten gegen Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Fortschr. d. Röntgenstr. 1903, 6 S. 235.
— und Lorenz, Die Schutzmittel für Ärzte und Personal bei der Arbeit mit Röntgenstrahlen. D. m. W. 1915 S. 301.
Baensch, W., Der Neubau des Leipziger Röntgeninstituts, Strahlenther. 1924, 17 S. 209
Berthold, R., Über die Wirkung von Röntgenschutzstoffen. Strahlenther. 1924, 16 S. 147.
— und R. Glocker, Über die Strahlenschutzwirkung von Baustoffen. Strahlenther. 1924, 16 S. 507.
Dechend, v., Über Schutzmittel gegen Röntgenstrahlen, insbesondere röntgenstrahlenundurchlässige Baumaterialien. Strahlenther. 1920, 11 S. 851.
Dessauer, Schutz des Arztes und des Patienten gegen Schädigung durch Röntgen- und Radiumstrahlung. M. m. W. 1907 S. 1827.
Franke, H., Über eine eigenartige Meßdifferenz bei der Prüfung von Röntgenschutzstoffen. Phys. Phys. Zschr. 1923, 24 S. 474.
Glocker, R., Über Absorption und Streuung der Röntgenstrahlen. Fortschr. d. Röntgenstr. 1918, 25 S. 421 u. 470.
— Über den Strahlenschutz in Röntgenbetrieben. Naturw. 1924 Nr. 9.
Glocker, R., und E. Kaupp, Strahlenschutz und Toleranzdosis, Strahlenther. 1925 (im Druck).
Halberstädter, L., und F. Tugendreich, Die Bedeutung der die Röntgenröhre rückwärts verlassenden Strahlung und die Notwendigkeit einer geeigneten Schutzvorrichtung, M. Kl. 1921 S. 252.
Holzknecht, G., und Grünfeld, Ein neues Material zum Schutz der gesunden Haut gegen Röntgenlicht und über radiologische Schutzmaßnahmen im allgemeinen, M. m. W. 1903 Nr. 28.
Kohler, A., Über wichtige Grundsätze bei der Anlage von Röntgenbehandlungsräumen, M. m. W. 1918 S. 566.
Krause, P., Wie schützt der Arzt bei Durchleuchtung seine Kranken und sich selber vor Schädigungen durch Röntgenstrahlen? M. m. W. 1923 S. 985.
Lorey, A., Über Schutzmaßregeln im Röntgenbetrieb, M. m. W. 1921 S. 1187.
Mutscheller, Physical standards of protection against röntgen-ray dangers, Amer. Journ. of Röntgen 1925, S. 65.
Pape, K., Röntgenstrahlen und Röntgenschutz, Strahlenther. 1923 S. 848.
Schmidt, H. E., Die Unzulänglichkeit der üblichen Schutzvorrichtungen in den Röntgeninstituten, Strahlenther. 1913 S. 722.
Schrader, E., Die neue Röntgenanlage der chirurgischen Universitätsklinik Würzburg, M. m. W. 1922 S. 1089.
Walter, B., Über den Schutz des Untersuchers gegen sekundäre Röntgenstrahlen. Verh. D. Röntg. Ges. 1910 S. 51.
— Über die Röntgenschutzwirkung des Bleies und einiger anderer Stoffe. Strahlenther. 1913, 3 S. 713.

Physikalische Sensibilisierung

Von

Professor Dr. **Hermann Holthusen**

Mit 6 Abbildungen und 8 Tabellen im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 385

II. Die klinischen Untersuchungen über die Sekundärstrahlenwirkung 386

A. Sensibilisierung mit fluoreszierenden Substanzen 386
B. Sekundärstrahlensensibilisierung 389

III. Die physikalischen Grundlagen der Sekundärstrahlentherapie 398

A. Die Absorption und die charakteristische Strahlung 398
B. Die Elektronenstrahlung 407
C. Die Streustrahlung 409

IV. Die Theorie der Sekundärstrahlensensibilisierung 409

A. Massive Sekundärstrahler 411
1. Sekundäre Wellenstrahlung der Inzidenzseite 411
2. Sekundäre Wellenstrahlung der Emergenzseite 414
3. Die sekundäre Elektronenstrahlung 419
B. Diffuse Verteilung der Sekundärstrahler im Gewebe 421

V. Experimentelle Untersuchungen zur Sekundärstrahlentherapie 422

A. Physikalische Untersuchungen 423
1. Sekundäre Wellenstrahlung 423
2. Sekundäre Elektronenstrahlung 426
B. Biologische Untersuchungen 429

VI. Die klinischen und experimentellen Ergebnisse der Sekundärstrahlentherapie unter Berücksichtigung ihrer theoretischen Grundlagen 435

I. Einleitung.

In diesem Kapitel sollen alle diejenigen Wege besprochen werden, die eingeschlagen worden sind oder eingeschlagen werden können, um in einem biologischen System unter Ausnutzung der physikalischen Eigenschaften der auffallenden Röntgenstrahlen eine Vermehrung ihrer Wirksamkeit hervorzurufen. Die Möglichkeit einer optischen Sensibilisierung ist bekanntlich von F. W. Vogel zuerst dargetan worden, dem es gelang, durch Zusatz von fluoreszierenden Farbstoffen (Eosin) die Lichtempfindlichkeit der photographischen Platte weiter nach der langwelligen Seite des Spektrums im sichtbaren Gebiete auszudehnen. Die optische Sensibilisierung biologischer Vorgänge zum ersten Male mit Bewußtsein erkannt zu haben, ist das Verdienst von O. Raab und W. v. Tappeiner, die bei Gelegenheit von Untersuchungen über die Einwirkung von Akridin auf Protozoen (Paramäcien) die Feststellung machen konnten, daß die Anwesenheit dieses fluoreszierenden Farbstoffes die Paramäcien ausgesprochen lichtempfindlich machte. Wurden die Tiere in einer Konzentration der Farbstofflösung, die sie im Dunkeln unbeeinflußt ließ, ans helle Tageslicht oder gar Sonnenlicht gebracht, so starben sie in kurzer Zeit ab. Diese „photodynamische Erscheinung", wie sie von Tappeiner genannt wurde, ist ein in der Biologie ganz allgemein verbreiteter Vorgang. Bei Anwesenheit von fluoreszierenden Farbstoffen der verschiedensten Provenienz erwirbt die lebende Zelle eine ausgesprochene Lichtempfindlichkeit in einem Grade, daß sie unter günstig gewählten Versuchsbedingungen fast momentan zugrunde geht. Und ähnlich wie die Zelle lassen sich Fermente und Toxine, Hämolysine, Präzipitine und verwandte Stoffe zerstören. Der Zusammenhang der photodynamischen Erscheinung mit der Fluoreszenz der wirksamen Farbstoffe darf als sichergestellt gelten (Jodlbauer und Tappeiner, J. Pioro), ebenso die Tatsache, daß die Stärke der Fluoreszenz und der Grad der Wirksamkeit nicht miteinander parallel gehen, woraus geschlossen werden kann, daß die sensibilisierende Wirkung nicht von den Fluoreszenzstrahlen als solchen abhängig ist. Wir kommen später darauf zurück (S. 388). Die Analogie zwischen der photodynamischen Erscheinung und der Sensibilisierung photographischer Platten ist, so sehr auch auf die nahe Verwandtschaft zwischen den beiden Vorgängen von den verschiedensten Seiten hingewiesen wurde (Neißer und Halberstädter), dennoch keine vollständige, und die von ihrem Entdecker gewählte Bezeichnung der in Frage kommenden Vorgänge als „photodynamische Erscheinung" besteht daher zu Recht (Jodlbauer). Die meisten Farbstoffe nämlich, mit denen sich eine biologische Photosensibilisierung erzielen läßt, wirken, wenn auch in wesentlich geringerem Grade doch auch schon im Dunkeln, und diese Dunkelreaktion ist der Lichtreaktion gleich (Jodlbauer und v. Tappeiner, Jodlbauer und Haffner). Es geht daraus hervor, daß diese Farbstoffe nicht nur als Lichtüberträger im physikalischen Sinne zu gelten haben, sondern daß sie auch eine pharmakologische Wirkung im gewöhnlichen Sinne des Wortes ausüben. Dieser Umstand darf nicht vernachlässigt werden. Nach allen Erfahrungen, für die wir aus dem Gebiete der Röntgenstrahlen noch zahlreiche Beispiele anführen werden, erhöht jede schädigende Einwirkung auf das betrachtete biologische System, mag sie auch

an und für sich unterschwellig sein, die Anspruchsfähigkeit gegenüber einer direkten Strahlenschädigung. Es ist danach anzunehmen, daß es sich bei der photodynamischen Wirkung nicht um eine reine optische Sensibilisierung handelt, sondern daß die eintretende Wirkung sich aus der optischen Sensibilisierung und der rein chemischen Wirkung des für das biologische System nicht indifferenten Farbstoffes zusammensetzt. In Übereinstimmung mit der von Eder gegebenen Definition kann man diese Form der Wirkungssteigerung auch als chemische Sensibilisierung bezeichnen. Wenn wir mit v. Seuffert streng genommen nur da berechtigt sind, von einer „Sensibilisierung" zu sprechen, wo am Objekt selber und seiner „Empfindlichkeit" etwas geändert wird, so würde gerade diese Form des Wirkungsmechanismus den Namen „Sensibilisierung" verdienen, allerdings nicht als physikalische, sondern als chemische Sensibilisierung anzusprechen sein. Gerade die physikalische Sensibilisierung ist ihrem Wesen nach, wie v. Seuffert mit Recht betont, insofern sie ein Verfahren charakterisieren soll, in welchem durch Einführen sekundärstrahlenspendender Substanzen die Dichte der wirksamen Strahlen erhöht wird, gar kein Sensibilisierungsverfahren, da dabei am Objekt selber und seiner Empfindlichkeit überhaupt nichts geändert wird. Übrigens haben wir, da sich der Ausdruck „Sensibilisierung" gerade für die Wirkungssteigerung durch Ausnutzung der Sekundärstrahlen eingebürgert hat, denselben auch für dieses Kapitel beibehalten.

II. Die klinischen Untersuchungen über die Sekundärstrahlenwirkung.

A. Sensibilisierung mit fluoreszierenden Substanzen.

Die ersten klinischen Versuche, pathologische Gewebe für die Einwirkung der Röntgenstrahlen zu sensibilisieren, knüpfen an die photodynamischen Erscheinungen beim sichtbaren Lichte an. Kothe injizierte Eosin in 1%iger und $1^0/_{00}$iger Lösung bei Warzen jeden zweiten Tag unter die Haut. Nach viermaliger Röntgenbestrahlung trat die Reaktion in dem injizierten Bereiche schneller und mit größerer Heftigkeit ein als im normalen, nicht vorbehandelten Gewebe. In einem Falle bildete sich die Warze, die gerade in dem injizierten Gebiete besonders groß gewesen war, dort am deutlichsten zurück. In Übereinstimmung damit trat bei einem Kaninchen, das jedesmal eine halbe Stunde vor der Bestrahlung eine Injektion von 1—2 ccm Eosin bekommen hatte und in täglichen Sitzungen von je $^1/_2$ Stunde im ganzen $3^1/_2$ Stunden bestrahlt worden war, eine Epilation und nachfolgende Geschwürsbildung an der bestrahlten Stelle auf. Ein ähnlicher Versuch an den Ohren hatte gleichfalls Geschwürsbildung zur Folge. An Bakterienkulturen, die mit Farbstoffen versetzt wurden, waren die Versuche vielleicht nur deswegen nicht entscheidend, weil eine schädigende Dosis überhaupt nicht erreicht wurde. Werner, der Versuche in ähnlicher Richtung anstellte, hatte zunächst beim Bepinseln der Haut mit Eosinlösung und nachfolgender Bestrahlung keinerlei Erfolg. Später verwendete er neben der Aufpinselung auch subkutane und intrakutane Reaktionen 1%iger und $1^0/_{00}$iger alkoholischer Lösungen. Intrakutane Reaktionen führten zu lebhafter Rötung, mäßiger Schuppung und etwas Hyperämie, vermochten aber nur dann zu sensibilisieren, wenn sie unmittelbar oder nur kurze Zeit (höchstens 2—3 Tage) vor der Bestrahlung appliziert worden waren, und zwar ließ sich die Sensibilisierung um so leichter erzielen, je rascher die Bestrahlung nach der Injektion vorgenommen wurde. Der Grad der Wirkungs-

steigerung stieg mit der Bestrahlungsintensität, mit der Konzentration der Eosinlösung und der Dichte der Infiltration. Daraus, daß das Eosin, wenn es länger als 2—3 Tage im Gewebe liegt, keine Wirkung mehr auszuüben vermag, schloß Werner auf eine Veränderung des Farbstoffes im Gewebe. Im übrigen schienen ihm die Versuche zu beweisen, daß das Eosin erst durch die Radiumstrahlen die Fähigkeit erhält, auf das Gewebe zu wirken. Polland berichtete im gleichen Jahre über eine Reihe von Fällen, von denen die eine Gruppe mit Radium allein, die zweite mit Sonnenlicht und sensibilisierenden Substanzen und die dritte mit sensibilisierenden Substanzen und Radium behandelt war. In dieser dritten Gruppe befand sich ein Fall von Lupus, der nach einer Injektion einer $1^0/_{00}$igen Lösung von Eosin mit Radium, allerdings in geringeren Dosen als in den Wernerschen Fällen, bestrahlt wurde und in dem sich ebensowenig wie in einem zweiten ähnlichen Falle eine verstärkte Wirkung nachweisen ließ. Dagegen konnte im Tierversuche gezeigt werden, daß durch kräftige Eosinsensibilisierung resistentes Gewebe empfindlicher gemacht wird. So konnte der Knorpel des Kaninchenohres, der bei der Bestrahlung mit schwachen Radiumkapseln intakt blieb, durch kräftige Sensibilisierung zur Auflösung gebracht werden. Hahn, der die Eosinbehandlung nach Tappeiner bei Ulcus rodens des Kopfes zunächst als medikamentöse Behandlung anwandte, sah in einem Falle mit enorm großem Geschwür am Kopfe durch die Eosinbehandlung allein nur ein promptes Sistieren der bis dahin sehr reichlichen Sekretion. Erst durch die Röntgenbestrahlung wurde eine gute Überhäutung vom Rande her erreicht. Zu einer skeptischen Beurteilung der Frage, ob sich die photodynamischen Wirkungen fluoreszierender Farbstoffe im sichtbaren Lichte auch auf die Applikation von Röntgen- und Radiumstrahlen übertragen lassen, kommt Jodlbauer, und zwar auf Grund von Versuchen an Paramäcien. Wandte er die bei der Untersuchung der photodynamischen Erscheinungen erprobte Methodik an und brachte die Protozoen in Eosinlösungen von 1:1000 bzw. 1:5000, die sich für die Sensibilisierung im sichtbaren Lichte als sehr wirksam erwiesen hatten, oder ließ er sie auf Invertin und Diastase wirken, so machte die Anwesenheit des Sensibilisators keinen Unterschied. Die fluoreszierenden Substanzen werden von Röntgenstrahlen eben nicht erregt. Gegen die Stichhaltigkeit dieser Versuche läßt sich immerhin einwenden, daß die angewendete Röntgen- und Radiumstrahlung zu gering war, als daß sie den Schwellenwert der Wirksamkeit selbst bei den sensibilisierten Versuchsobjekten erreicht hätte. M. Fränkel sah nach Eosinisierung und Röntgenbestrahlung günstige Erfolge in Form von Abkürzung der Bestrahlungszeit bei Fluor albus und brachte 2 Fälle von gonorrhoischem Fluor zur Heilung.

In etwas anderer Weise ging Gauthier vor, indem er $^1/_2$ Stunde vor der Bestrahlung 0.3 g Chinin, das bekanntlich als Sulfat in Lösung durch ultraviolette Strahlen zur Fluoreszenz erregt wird, in die Geschwulst injizierte. Er konnte sich jedoch bei einem Vergleich von 5 mit Röntgenstrahlen allein und 5 nach vorheriger Sensibilisierung behandelten Fällen von einer günstigen Wirkung der Strahlen in den mit Chinin behandelten Fällen nicht überzeugen. Bernabeo brachte, von dem Gedanken ausgehend, daß durch Röntgenstrahlen nur Substanzen in kristallinischer Form zur Fluoreszenz erregt werden, in Paraffin suspendierte fluoreszierende Substanzen ins Gewebe, berichtet aber nicht über seine Resultate. Martenstein griff neuerdings die Frage, ob sich die Erfahrungen mit den photodynamischen Wirkungen des sichtbaren Lichtes auch auf die Behandlung mit Röntgenstrahlen übertragen ließe, noch einmal auf, indem er an 2 Fällen von Hydroa vacciniformis bei Geschwistern, bei denen besonders durch ultraviolette Strahlen von weniger als 200 $\mu\mu$ Wellenlänge starke Reaktionen erzeugt wurden, Röntgenstrahlen (1 H.E.D.), Alphastrahlen (Doramadsalbe in der Konzentration von 1000 stat. Einh. auf 1 g Salbe), Beta- und Gammastrahlen (in Form eines plattenförmigen

Mesothorpräparates von 11 mg) zur Anwendung brachte. Er kam zu dem Resultat, daß die Bestrahlungsreaktionen bei den Hydroakranken und auf normaler Haut in gleicher Stärke auftraten.

Insgesamt können die Erfahrungen, die mit der Injektion fluoreszierender Farbstoffe und nachträglicher Bestrahlung gemacht wurden, nicht als besonders ermutigend bezeichnet werden. Die positiven Wirkungen, die einzelne Autoren gesehen zu haben glauben, sind offenbar diesen selber nicht so überzeugend gewesen, daß sie sie zu weiteren Versuchen in der eingeschlagenen Richtung ermutigt hätten. Heute, wo wir den Zusammenhang zwischen der Fluoreszenz der photodynamisch wirksamen Farbstoffe und ihrer sensibilisierenden Wirkung wenigstens in seinen Grundzügen überblicken, erscheint uns das nicht wunderbar. Damals, als die meisten der beschriebenen Versuche angestellt wurden, war der Zusammenhang zwischen Fluoreszenz und Wirksamkeit der sensibilisierenden Farbstoffe noch kontrovers. Während von Jodlbauer immer der Zusammenhang mit der Fluoreszenz betont wurde, betrachtete Neißer den Vorgang als eine Photosensibilisierung. Wenn wir auch den Mechanismus der eigentlichen „photodynamischen Erscheinung", d. h. der Sensibilisierung photobiologischer Reaktionen für sichtbares Licht durch die Anwesenheit fluoreszierender Farbstoffe nicht vollständig übersehen, so dürfen wir doch heute, besonders auf Grund der Untersuchungen von Franck und seiner Schule annehmen, daß das Prinzipielle in der Wirkungsweise der fluoreszierenden Farbstoffe darin besteht, daß erstens durch ihre Anwesenheit im Gewebe Absorptionszentren für das sichtbare Licht geschaffen werden, und zweitens, daß die Lichtenergie von den fluoreszierenden Farbstoffen in einer Form absorbiert wird, in der sie die Energie an die lichtempfindlichen Gewebsmoleküle übertragen können. Die wirksame Form der Absorption im Farbstoffmolekül führt in ihm eine Elektronenanregung herbei, deren Vorhandensein als Folge der Belichtung durch die Eigenschaft der Fluoreszenz gerade bewiesen wird. Bei der Rückkehr aus dem erregten in den Ausgangszustand des Moleküls wird — analog dem Vorgange bei der Röntgenfluoreszenz (vgl. S. 401) — die Fluoreszenzstrahlung ausgesendet. Nun wird aber die Absorption für Röntgenstrahlen durch Hinzufügen der gewöhnlichen fluoreszierenden Farbstoffe in den bei der Lichtsensibilisierung in Betracht kommenden Konzentrationen von 1:1000 und weniger gar nicht gesteigert. Vor allem aber tritt in einer Lösung derartiger Farbstoffe unter dem Einflusse der Röntgenstrahlen gar keine sichtbare Fluoreszenz auf, selbst wenn man sie mit Röntgenstrahlen von großer Intensität, 60 mA. und mehr, bestrahlt. Wie aus dem Zusammenhange zwischen Wellenlänge der Erregerstrahlung und der ausgesendeten Fluoreszenzstrahlung mit ihren ausgesprochenen Maxima an bestimmten Stellen des Spektrums hervorgeht, ist die Fluoreszenzerregung beim Lichte auf ganz bestimmte Wellenlängen des erregenden Lichtes abgestimmt. Bei einer Erregung durch Elektronen, auf welche die Röntgenfluoreszenz zurückzuführen ist, sollten eigentlich beliebige Quantengrößen, also auch die für die Erregung sichtbarer Fluoreszenz erforderlichen Quanten von den Primärelektronen abgegeben werden können. Möglicherweise ist das Auftreten sichtbarer Fluoreszenz unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen nur eine Frage der Intensität. Doch ist es immerhin auffallend, daß im Gegensatz zu dem Verhalten der fluoreszierenden Farbstoffe in einer Lösung von Chininsulfat 1:100 auch mit den uns zur Verfügung stehenden Intensitäten der Röntgenstrahlen bereits eine deutlich sichtbare Fluoreszenz in grünlichem Lichte auftrat (vgl. S. 429). So muß man denn dem Vorgehen von Bernabeo und von Gauthier vom physikalischen Standpunkte aus eine größere Berechtigung zusprechen als den Versuchen mit fluoreszierenden Farbstoffen. Gerade bei den vom sichtbaren Lichte zur Fluoreszenz angeregten Farbstoffen fehlen alle Voraussetzungen für eine Anregung durch Röntgen-

strahlen. Wenn demnoch mehrere Beobachter eine Zunahme der Strahlenreaktion nach Eosinisierung des Gewebes gesehen haben, so sind wir nicht berechtigt, sie ohne weiteres als Täuschung abzutun, sondern müssen annehmen, daß die Vorbehandlung in einem anderen Sinne „sensibilisierend" gewirkt hat, nämlich dadurch, daß sie als pharmakologisches Agens die Anspruchsfähigkeit des Gewebes für die Röntgenstrahlen verstärkt hat. Gegen diese Auffassung darf nicht eingewendet werden, daß die Eosinisierung allein keine Wirkung ausgeübt habe. Durch die Untersuchungen von Hoffmann und von Kroetz wissen wir, daß auch unterschwellige chemische und thermische Reize in Verbindung mit Röntgenstrahlen wirksam werden können, und aus Versuchen von Jodlbauer und v. Tappeiner und Jodlbauer und Haffner wissen wir ferner, daß die photodynamisch wirksamen Farbstoffe dieselben Reaktionen als „Dunkelreaktionen", wenn auch nach wesentlich längeren Zeiten und stärkeren Konzentrationen im Gefolge haben, die sie in schwächeren Konzentrationen und in wesentlich kürzeren Zeiten unter der Mitwirkung des sichtbaren Lichtes hervorbringen. Übrigens berichtete Plesch neuerdings u. a. über einen Fall von Lymphogranulomatose, bei dem sich die mediastinalen Drüsentumoren allein durch Allgemeinbehandlung mit Äskulin, einem fluoreszierenden Farbstoff des Planzenreichs, zurückbildeten. In diesem Zusammenhange sind auch die Versuche von Baldwin zu erwähnen, welche die gesteigerte Empfindlichkeit von Paramäcien gegenüber Röntgenstrahlen nach vitaler Färbung mit Trypanblau zum Gegenstande haben, mit einem Farbstoffe also, der photodynamisch nicht wirksam ist. Es wurde eine $^1/_2$%ige Lösung von Trypanblau in Mengen von 2—4 ccm am 1., 3. und 5. Tage gegeben und am 5. Tage mit 100 mA.-Min. in 17,5 cm Abstand bei 50 kV. bestrahlt. Das Intervall bis zum Tode der Tiere wurde von 110—120 Stunden bei normalen Tieren auf 60—70 Stunden bei gefärbten Tieren herabgesetzt. Histologisch unterschieden sich die bestrahlten, vital gefärbten Tiere nicht von den ungefärbten bestrahlten Kontrolltieren. Verf. vergleicht selber die Wirkung mit der eines optischen Sensibilisators. Wir möchten umgekehrt sagen, daß die in diesen Versuchen erwiesene Herabsetzung des Schwellenwertes der Empfindlichkeit für Röntgenstrahlen durch Vitalfärbung auch der Grund für die gelegentlich beobachtete Wirkungssteigerung bei Eosinisierung gewesen ist. Benutzt man noch dazu, wie es in den Versuchen von Werner der Fall war, zur Injektion eine alkoholische Lösung, so setzt man damit einen Gewebsreiz, der das Gewebe während der Dauer seiner Wirksamkeit zweifellos in einen Zustand erhöhter Anspruchsfähigkeit gegenüber Röntgenstrahlen setzen kann. Als Parallele sei nur auf die Versuche von Halberstädter und Simons über die Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung an der menschlichen Haut hingewiesen. So ist es auch nicht wunderbar, daß Werner die Wirkungssteigerung einige Tage nach der Eosininjektion abflauen sah, auch wenn das Gewebe noch Eosin enthielt. Nach dieser Zeit war eben die entzündliche Reaktion im Gewebe, welche die Sensibilisierung darstellte, abgeklungen. Die Annahme einer Veränderung des Eosins im Gewebe innerhalb dieser Zeit ist nicht erforderlich.

B. Sekundärstrahlensensibilisierung.

Das Problem der physikalischen Sensibilisierung bei Röntgenstrahlen wurde zum ersten Male 1910 von Barkla aufgerollt im Zusammenhange mit seinen klassischen Untersuchungen über die Auslösung charakteristischer Sekundärstrahlen in Metallen. Barkla gab die Anregung, durch Einbringen von Metallsalzen in das Gewebe auch in diesem die Voraussetzungen für die Entstehung der Röntgenfluoreszenzstrahlen zu schaffen und dadurch die biologische Strahlenwirkung zu verstärken. Barkla selber

nahm für diese Wirkungssteigerung durch Sekundärstrahlung sowohl die sekundäre Röntgenstrahlung wie auch die sekundäre Elektronenstrahlung in Anspruch. Es ist nicht ohne Interesse, daß von den späteren Untersuchern in Analogie mit der photodynamischen Wirkung des sichtbaren Lichtes das Wesen der Sensibilisierungserscheinung zunächst in der Wirkung der Fluoreszenzstrahlen selber gesucht wurde. Aber ebenso wie bei der photodynamischen Erscheinung die Sensibilisierungswirkung nicht von den Fluoreszenzstrahlen als solchen ausgeht, so haben sich auch bei der physikalischen Sensibilisierung durch Röntgenstrahlen die Fluoreszenzwellenstrahlen selber als praktisch unwirksam erwiesen. Wie der Wirkungsmechanismus bei der photodynamischen Wirkung in Vorgängen an den Elektronen seine Erklärung findet, so geben auch bei der Röntgensensibilisierung die Elektronenstrahlen den Ausgangspunkt für die tatsächlich mögliche physikalische Sensibilisierung ab.

Im Jahre 1910 veröffentlichte Albers-Schönberg in der 3. Auflage seines bekannten Lehrbuches der Röntgentechnik Versuche über die von Sekundärstrahlen ausgehenden biologischen Wirkungen. Diese Versuche, die im Zusammenhange mit der Frage nach den im Röntgenbetriebe unumgänglich notwendigen Schutzmaßnahmen angestellt waren, bestanden darin, daß Meerschweinchen monatelang während der regulären Arbeiten im Institut auf 1,50 m Abstand den sekundären Glasstrahlen der Röntgenröhre ausgesetzt wurden. Es kamen jedoch Zeichen der Schädigung, nachweisbar durch die Atrophie der spezifischen Elemente der Keimdrüsen, nicht zur Beobachtung. Diese Versuche gehören jedoch im strengen Sinne nicht zu unserem Thema, da sie die Betrachtung der sekundären Streustrahlen für sich genommen, zum Gegenstande haben, nicht eine durch Sekundärstrahlen hervorgerufene Steigerung der primären Röntgenwirkung. Hernamann-Johnson gab 1911, angeregt durch einen Vortrag von J. J. Thomson über Sekundärstrahlen, Silberpulver per os oder per klysma, als Brot- oder Milchmahlzeit, und behandelte auf diese Weise im ganzen 7 Fälle von Magen- und Darmgeschwüren und ein Pyloruskarzinom. Die Erfolge schienen ihm ermutigend. Einen plattenförmigen Sekundärstrahler in Form eines Schillingstückes wandte er in einem Falle von Ulcus rodens an der Wange an, in dem nach anfänglicher Reaktion mit starker Schwellung glatte Heilung eintrat. In einem anderen Falle wurde der Sekundärstrahler als 2%ige Lösung von Arg. nitr. injiziert. In einer Arbeit des folgenden Jahres bespricht derselbe Autor zunächst die verschiedenen Formen der Sekundärstrahlenanwendung unter Zugrundelegung der von Barkla und seinen Mitarbeitern gewonnenen Daten über die physikalischen Eigenschaften der Sekundärstrahlen. Es werden unterschieden die Methoden, bei denen entweder die von einem von Röntgenstrahlen getroffenen Metall zurückgestrahlte Sekundärstrahlung ausgenutzt wird (anadrastische Strahlen), oder die von einem in das Gewebe injizierten Sekundärstrahler nach allen Seiten ausgehende Sekundärstrahlung benutzt wird (pandrastische Strahlen), oder schließlich die in der Richtung der Primärstrahlung fallende Sekundärstrahlung sich auswirkt (syndrastische Strahlen). Das weiteste Anwendungsgebiet hat die Methode, die von den anadrastischen Strahlen Gebrauch macht. Hierher gehört die schon in der ersten Publikation besprochene Methode der Sensibilisierung des Verdauungstraktes durch Silberpulver. Argyrie braucht dabei nicht befürchtet zu werden. Ein Patient des Autors bekam ohne Beeinträchtigung seines Befindens 500 g im Laufe eines halben Jahres. Der Grund dafür, daß das diagnostisch verwendete Wismut, anders als das Silber, keine schädigende Wirkung durch ungewollte Sensibilisierung verursacht, beruht darauf, daß dieses nicht zur charakteristischen Sekundärstrahlung erregt wird und daß die von ihm ausgehende Elektronenstrahlung so stark absorbierbar ist, daß schon die im Munde erfolgende Umhüllung der Wismutbissen mit Speichel genügt, um die Sekundärstrahlen des Wismut bis zur Wir-

lang genug zu absorbieren. Sollen dickere Gewebsschichten beeinflußt werden, so muß das ganze Gewebe mit dem Sekundärstrahler durchsetzt werden, die oberflächliche Applikationsweise genügt nicht. Diese radikalste Form der Sekundärstrahlenerzeugung hat der Verfasser durch intratumorale Injektion von Ammoniumbromid, Strontiumbromid und Jodkali versucht in der Hoffnung, daß diese Salze auch in die Zellen eindringen würden. Denn da die Reichweite der hauptsächlich wirksamen Elektronenstrahlen nur etwa 5 μ beträgt, so vermögen sie den Kern großer Zellen nur unter dieser Voraussetzung zu erreichen. Eine 1½%ige Kollargollösung, die im übrigen in bezug auf Sekundärstrahlenerzeugung die gleiche Wirksamkeit ausübt wie eine isotonische Lösung von Strontiumbromid, ist deswegen weniger brauchbar, weil sie nicht in die Zellen eindringt. Schließlich wird ein Fall eines Sarkoms bei einem 1½jährigen Kinde mitgeteilt, bei dem durch Injektion einer 10%igen Lösung von Wismut und Eisenzitrat nach zweitägiger Behandlung völliger Schwund eintrat. Sollen die in der Richtung der Primärstrahlung fallenden „sekundären" Strahlen ausgenutzt werden, so kommen nur ganz dünne Schichten in Betracht, durch welche die Primärstrahlung möglichst wenig geschwächt wird. Der Verfasser empfiehlt Zinkoxyd und eine weiche bis mittelharte Strahlung, berichtet aber nicht über eigene klinische Erfahrungen. Die weiteren Ausführungen betreffen die Beschreibung von Vorrichtungen zur Erzeugung von Sekundärstrahlungen bestimmter Metalle und auf diese Weise in ihrer Qualität scharf definierte Strahlen für therapeutische Zwecke benutzen zu können. Eine Reihe von Beiträgen zur Sekundärstrahlentherapie stammen aus den Jahren 1913. Gauß und Lembcke wurden durch Versuche an Kaulquappen, die mit und ohne Aluminiumfilter in Kollargollösungen verschiedener Konzentration bestrahlt wurden, dazu geführt, das Verfahren der Injektion von Kollargol ins Gewebe zum Zwecke der Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung auch für die menschliche Therapie zu empfehlen und stellen diesbezügliche Mitteilungen in Aussicht. Doch ist über die klinischen Erfahrungen mit der Kollargolsensibilisierung nichts bekannt geworden. Auch Müller-Immenstadt beschränkt sich bei einer Besprechung der Kombinationen, in denen die Röntgenbestrahlung mit anderen Formen therapeutischer Maßnahmen angewendet wird, auf den Hinweis, die Kollodmetalle als Sekundärstrahlenspender anzuwenden, wobei er besonders Eisenzweifel, -zinn, -vanadin und -kobalt namhaft macht. Neben der intratumoralen Injektion erwähnt er als andere Möglichkeiten der Ausnutzung für die charakteristischen Sekundärstrahlen die Einführung reflektierender Metallplatten und die Zufuhr von Wismutbrei. Stewart benutzte zur Behandlung des Ösophaguskarzinoms eine in die Speiseröhre eingeführte Silberröhre, durch welche die Ernährung vor sich gehen konnte, und bestrahlte durch zahlreiche Einfallsfelder so, daß die Oberfläche der Silberröhre nach und nach ringsum getroffen wurde. Er empfiehlt das gleiche Verfahren für die Behandlung des Rektumkarzinoms. Harris empfahl eine Vorbehandlung des karzinomatösen Rektums mit Zinksalbe. Die von E. G. Beck auf Grund seiner Wismutpastenbehandlung mit nachfolgender Röntgenbestrahlung erzielten Erfolge verdankt er nach Christen ebenfalls der vom Wismut ausgehenden weichen Sekundärstrahlung. Wolze und Pagenstecher fanden auf Grund der Beobachtungen an einem Tonsillarkarzinom, daß Tumorgewebe, das mit Kuprase vorbehandelt war, prompter auf Röntgenstrahlen ansprach als ohne diese Maßnahme. Er führt die Wirkung zum Teil auf die von den Kupferatomen ausgehenden Sekundärstrahlen zurück, außerdem soll die Quellung und Hyperämie zur Sensibilisierung des Tumors beitragen. Von der Vorstellung ausgehend, daß die Sekundärstrahlung um so wirksamer sein müsse, je stärker sie absorbiert wird, empfiehlt er nach dem Vorgange von Spude das Ferrum oxydulatum nigrum (Riedel), da die Sekundärstrahlung

des Eisens besonders weich ist. Auf die Rolle des Eisens bei dem Wirkungsmechanismus kurzwelliger Röntgen- und Gammastrahlen macht Löwenthal aufmerksam. Nach seinen Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Metalle auf die photographische Platte (vgl. S. 428) kommt er zu dem Ergebnis, daß es in erster Linie die sekundären Elektronenstrahlen sind, denen die biologische Wirkung der Strahlen zu verdanken ist. Ihre Entstehung im Eisen- und im Kalziumatom läßt Hämoglobin und Kalk im Organismus schon normalerweise eine wesentliche Rolle als solche Energieüberträger spielen. Während aber Pagenstecher den Übergang zu weichen Sekundärstrahlen und damit zu Metallen mit niedrigem Atomgewicht empfohlen hatte, kommt Löwenthal auf Grund seiner Versuche zu dem Resultat, daß die Intensität mit der Höhe des Atomgewichtes des Sekundärstrahlers anwächst. Klotz verwendete die Kolloide der Schwermetalle, die, wenigstens im Tierexperiment, schon an und für sich, wie Neuberg zeigte, imstande sind, Tierkarzinome zur völligen Heilung zu bringen. Von 13 Fällen wurden zunächst einige mit Elektrokupfer, der größere Teil mit Elektrokobalt behandelt. Bei den verabfolgten Dosen (5—10 g pro dosi) wurden keine schädlichen Nebenwirkungen gesehen. Von Sellheim wurde neben der pharmakologischen die Wirkung der Sekundärstrahlen in Anspruch genommen. Holzbach, der ebenfalls an der Sellheimschen Klinik arbeitete, benutzte für seine von ähnlichen Gedankengängen ausgehenden Versuche Fulmargin, ein Silberkolloid von besonders feiner Verteilung. Von intravenöser Injektion sah er ab, da nach Versuchen von Cohn und Nicolescu das injizierte Silber schon nach wenigen Minuten aus der Blutbahn verschwunden ist. Er wählte den Weg der direkten Injektion in das zu bestrahlende Gewebe und empfiehlt diese Methode zur Nachprüfung, wenn er auch über eigene Erfolge nicht berichten kann. Weiter greift er Versuche von Heile auf, der sah, daß dasselbe Strahlenquantum, das an den mit Kochsalz unterspritzten Hautpartien keine Schädigung hervorrief, an den mit Jodoform injizierten Stellen eine deutliche Dermatitis herbeiführte. Er glaubt, daß dabei nicht, wie Heile annahm, die Ansammlung von Leukozyten und deren Zerstörung durch die Strahlen die Hauptrolle spielen, sondern daß bei der Wirkungssteigerung frei werdendes Jod im Spiele sei. Er wandte das Jod in Form einer 1%igen Lösung von Jodoformöl an, das er in Mengen bis zu 60 ccm in die Bauchhöhle einspritzte, um dann sofort die Bestrahlung anzuschließen. Bei inoperabler Blasen- und Nierentuberkulose wurden 0,5 g Jodoform in 5 ccm Chloroform gelöst, in 30 ccm Öl aufgeschwemmt und in die Harnwege eingeführt, bei Kolipyelitis Kollargol ins Nierenbecken injiziert. Auch diese Methoden werden als aussichtsreich zur Nachprüfung empfohlen. Salzmann richtete sein Hauptaugenmerk auf die charakteristischen Eigenstrahlen. Aus seinen physikalischen Experimenten, die später besprochen werden sollen, zog er den Schluß, daß die Substanzen mit mittlerem Atomgewicht die besten Aussichten für die Ausnutzung der Sekundärstrahlen böten, und verwandte in seinen praktischen Versuchen eine Kadmiumschale, die in der Weise an den Tumor herangebracht wurde, daß sie ihn nach Möglichkeit umfaßte. Dies ließ sich beim Portiokarzinom durch Einbringen in das hintere Scheidengewölbe immerhin bewerkstelligen. Um die ganz weiche L-Strahlung zu absorbieren, wurde das Metall in eine dünne Haut von Guttapercha eingewickelt. Es wurden von ihm 4 Fälle mitgeteilt, 2 Portiokarzinome, 1 Zervix- und Portiokarzinom und ein Rezidiv im Parametrium nach Totalexstirpation, die alle günstig beeinflußt wurden. 1914 berichtete Albers-Schönberg in einem Vortrage auf dem Internationalen medizinischen Kongreß in London über Versuche an Menschen und Tieren, in denen mit pulverisiertem Aluminium (Feilspänen) gefüllte Aluminiumhülsen als Sekundärstrahler verwandt wurden. Die Tierversuche waren so angestellt, daß nur Sekundärstrahlen zur Anwendung kamen. Die von der primären Röntgenstrahlung

getroffenen Aluminiumhülsen gaben aber zu wenig Sekundärstrahlen ab, um einen meßbaren Effekt hervorzubringen. Untersucht wurde wie in den früheren Versuchen die Wirkung auf die Keimdrüsen. Auch die Versuche am Menschen, und zwar an Kranken mit Myomen und Mastdarmkarzinomen, denen ähnliche Aluminiumhülsen in die Vagina oder das Rektum eingeführt waren, fielen nicht überzeugend aus, doch hält Verfasser es für möglich, daß mit anderen Metallen bessere Wirkungen zu erzielen seien. Werner teilt 1915 mit, daß er das Verfahren der Sekundärstrahlensensibilisierung seit 1905 bei einzelnen Fällen immer wieder erprobt hat, und zwar durch Injektion von kolloidalem Silber. Er hat eine Verstärkung der Strahlenwirkung festgestellt, doch scheint ihm nicht entschieden, ob nicht der quantitative Vorteil durch eine qualitative Verschlechterung wettgemacht wird. Nach Injektionen von Elektroselenium und Selenvanadium hatte er den Eindruck einer Verstärkung des Strahleneffektes, jedoch einer zu stürmischen Reaktion, so daß er zu dem milder wirkenden Enzytol überging.

Erst 1918 wurde das Sekundärstrahlenproblem weiter verfolgt, und zwar zugleich von verschiedenen Seiten und unter verschiedenen Gesichtspunkten. Gemeinsam war den Untersuchern das Bestreben, das wirksame Metallsalz in das erkrankte Gewebe hineinzubringen. Stepp und Cermak richten ihr Hauptaugenmerk auf die sekundäre Wellenstrahlung und stützen sich in ihren theoretischen Überlegungen in erster Linie auf die Untersuchungen von Salzmann, wonach die Atome, deren Atomgewichte zwischen 107 und 120 liegen, die beste Ausbeute an Eigenstrahlen liefern. Wenn es sich darum handelt, die wirksamen chemischen Verbindungen in das erkrankte Gewebe zu bringen, dahin, wo die Sekundärstrahlenwirkung erwünscht ist, so fallen von den Atomen in der Umgebung des Wirkungsmaximums das giftige Antimon weg und ebenso das in seiner Wirkung auf den Körper noch nicht genügend erforschte Kadmium, dagegen sind Jod und Silber erfolgversprechend. Silber wurde als Kollargol in 1%iger Lösung zu Einspritzungen in die Harnblase verwendet oder in Form der Crédéschen Salbe zu Einreibungen auf die Haut, Jod in Form von Jodoformglyzerin bei Gelenkerkrankungen angewandt oder als Jodkali innerlich gegeben. Letztere Anwendungsform erschien aus dem Grunde aussichtsreich, weil es nach verschiedenen Untersuchungen anzunehmen ist (Osw. Loeb, Michaud, v. d. Velden), daß tuberkulöses und Karzinomgewebe imstande sind, Jod in sehr viel größeren Mengen aufzunehmen als gesunde Organe und Gewebe. Was die praktischen Versuche an Kranken anbetrifft, so berichten sie über 9 Fälle von Blasentuberkulose, bei denen die Autoren jedoch hinsichtlich der Beurteilung der Wirkung zurückhaltend sind, ferner über eine Reihe von Gelenkerkrankungen, bei denen intraartikuläre Injektionen von Jodoformglyzerin und Einreibungen von Crédescher Salbe auffallende Besserungen herbeiführten, endlich über einige Fälle von Basedowscher Erkrankung mit Einreibungen von Crédescher Salbe in die Struma, die aber bei der Veröffentlichung noch nicht abgeschlossen waren, ebenso wie die Versuche mit innerlicher Darreichung von Jodkalium. In einer späteren Arbeit über die Röntgentiefentherapie in der inneren Medizin werden als weiteres Anwendungsgebiet angegeben: Lymphogranulomatosen mit innerlicher Jodbehandlung und äußerlicher Jodapplikation in Salbenform, Blasen- und Nierentuberkulose, von denen 11 Fälle behandelt wurden, wobei die Anreicherung des Jodes in der Niere bei großen internen Jodgaben von Bedeutung ist, Drüsentuberkulosen und Strumen, bei denen Jod in Salbenform angewendet wird. Im ganzen sind die mitgeteilten Ergebnisse nicht sehr überzeugend. Über Erfahrungen an malignen Tumoren, bei denen innerliche Jodtherapie ebenfalls aussichtsreich erscheint, können die Autoren noch nicht berichten. In diesem Zusammenhange mögen auch die Mitteilungen M. Fränkels über mehrere Fälle von erhöhter Radiosensibilität der Haut bei Brom-, Jod- und Salvarsankuren Erwähnung finden.

Bessunger ging ähnlich wie Holzbach bei seiner Empfehlung der Anwendung des Jod in Kombination mit der Strahlentherapie zunächst von seiner Wirkung als differentem chemischen Körper aus. Es wurden etwa 5 ccm einer Lösung von Jodkali, Jodthion, Jodolyt und der wasserunlösliche Jodolytester in Mengen von etwa 5 ccm in die erkrankten Partien eingespritzt und mit 30 X bestrahlt. Anschließend trat eine Rötung und Schwellung der vorbehandelten Körpergegenden auf. 6 Tage später begann Nässen und Krustenbildung. Da die Wirkung auf die Injektionsstelle beschränkt war und sich eine Flächenwirkung nicht erzielen ließ, so wurde zu einer anderen Methode übergegangen, bei welcher der Kranke vor der Bestrahlung 2 g Jodolyt erhielt und am nächsten Tage am Erkrankungsorte mit Jodthion und Jodolytesterazetonöl eingerieben wurden. Es tritt dann im Bereiche der so behandelten lupösen Partien eine Geschwürsbildung ein, die bei kräftigen Patienten unter Salbenverbänden abheilt. Besonders starke Bestrahlungsreaktion wurde bei den krustoulzerösen Formen beobachtet. Während der Autor in seiner ersten Arbeit die Wirkungssteigerung auf die Abspaltung von freiem Jod zurückführt, das auch zum Teil mit der Stärkereaktion nachgewiesen werden konnte, nimmt er in einer späteren Publikation auch die Sekundärstrahlung, die von den Jodatomen ausgeht, für die Strahlenwirkung in Anspruch. In den Versuchen, die Rohrer in dem gleichen Jahre unabhängig von Stepp und Cermak ebenfalls mit der Kombination von Jod und Röntgenbestrahlung ausführte, kam es diesem Autor darauf an, durch Einverleibung des Jodsalzes in das erkrankte Gewebe dessen Absorption zu steigern. Ihn leitete dabei der Gedanke, daß die erhöhte Absorption mit einer gleich großen Vermehrung der Wirkung verbunden sein müsse. Er machte seine Versuche an tuberkulösen Lymphomen, in die er nach Bepinselung der Haut mit Jodtinktur zunächst eine blutisotonische Lösung, später 10 %ige Jodkaliumlösungen möglichst gleichmäßig injizierte. Er berechnete, daß, wenn es ihm gelang, auch nur eine Konzentration des Jodkalium im Gewebe von 0,8 % zu erzielen, die Absorption dadurch auf das Doppelte erhöht würde. An die Injektion wurde unmittelbar die Bestrahlung mit harter Therapieröhre angeschlossen (10—12 Wehnelt). Der Autor führt die günstigen Erfolge seines 18 Fälle von Lymphomen umfasenden, aber nur kurze Zeit beobachteten Materials auf die vermehrte Absorption zurück. Das Hauptanwendungsgebiet für das Verfahren sieht er allerdings bei der Bestrahlung bösartiger Tumoren, über die er selbst keine Erfahrungen besitzt. Dabei sind extrem harte Strahlen angezeigt, um die Intensitätsverminderung nach der Tiefe durch vermehrte Absorption nicht zu groß werden zu lassen. Die Erfolge Bessungers (s. oben) führt er ebenfalls auf vermehrte Absorption zurück. Gegen die Ausführungen Rohrers machte Lenk geltend, daß seine klinischen Erfolge deswegen nicht beweiskräftig seien, weil bei einem Vergleichsmaterial ohne Sensibilisierungsbehandlung jederzeit die gleichen, wenn nicht noch bessere Erfolge erzielt werden könnten. Die Schwierigkeit bei der Injektionsmethode liegt in der Erreichung gleichmäßiger Verteilung. Hoffnungsvoller erscheint dem Verfasser der von v. d. Velden, Jakobi, Neuberg und seinen Mitarbeitern eingeschlagene Weg, die spezifische Organaffinität bestimmter Salze auch für die Sekundärstrahlentherapie auszunutzen. In einem von Lenk mitgeteilten Falle eines Patienten, der auf einer Halsseite zwei gleich große und gleich alte Lymphome von gleicher Konsistenz nebeneinander aufwies und von denen der eine mit Jodkaliumlösung infiltriert wurde, zeigte sich nach einer Bestrahlung mit 7 H unter 3—4 mm Aluminiumfilter kein merklicher Unterschied in der Rückbildungsgeschwindigkeit. Zu der gleichen ablehnenden Stellungnahme gelangte Palugyay auf Grund der Nachprüfung des Rohrerschen Jodsensibilisierungsverfahrens an der 2. Med. Univ.-Klinik in Wien an 6 Fällen von Lymphomen, die ebenso wie bei Lenk nach dem Gesichtspunkte ausgewählt waren, daß 2 oder mehr Lymphome von möglichst gleichem Alter,

annähernd gleicher Konsistenz und annähernd gleicher Größe vorhanden waren. Er rät sogar von der Anwendung des Verfahrens wegen der Gefahr der Fistelbildung direkt ab. In einer späteren Arbeit bezweifelt Rohrer die Beweiskraft der negativen Erfahrungen Lenks, die sich nur auf den zeitlichen Verlauf der Rückbildung von Lymphomen bei einem einzigen Patienten stütze. Er selbst teilt einen Fall mit, in welchem er nach Injektion von 10 ccm 30%iger Jodkaliumlösung mit ultraharten Strahlen (12—15 mm Aluminium Halbwertschicht) die sehr rasche Zurückbildung eines großen Karzinoms beobachten konnte. Auch die von Lenk geäußerte Ansicht, daß die vermehrte Absorption im Jodatom im Gegensatz zur Annahme Rohrers keine Wirkungssteigerung bedeute, wird dahin berichtigt, daß man die Röntgenwirkung als Wirkung von Elektronen auffassen könne, deren Wirkungssphäre erheblich über den Ort ihrer Entstehung hinausgreife, ja, daß sie bei harten Strahlen bis zu einem Umfange von 0,38 mm im Gewebe wirksam sein könnten. Spieß ließ sich bei seinen gemeinsam mit Voltz veröffentlichten Versuchen über die Möglichkeit einer Steigerung von Röntgenstrahlenwirkung mittels metallischer Sekundärstrahlen durch die Befunde von Neuberg, Caspari und Löhe über die Tumoraffinität bestimmter kolloidaler Metallsalze leiten. Er benutzte das von den Höchster Farbwerken hergestellte Aurokantan und Chrysolgan intravenös in Mengen von 0,5—1,0 g, nachdem er durch Analysen festgestellt hatte, daß das Gold im Tumor gespeichert wurde. Die Verteilung des Goldes im Tumor blieb allerdings offen. Über klinische Erfolge wird nicht berichtet. Hat das Jod und haben andere Metallsalze von ähnlichem Atomgewicht einen wirkungssteigernden Effekt bei der Röntgenstrahlenwirkung durch Sekundärstrahlenbildung, so muß die Möglichkeit unfreiwilliger Hautsensibilisierung bei der Anwendung metallhaltiger Salben und Pflaster in Kombination mit der Röntgentherapie ins Auge gefaßt werden. Bei verschiedenen Gelegenheiten, so z. B. in der Diskussion zu einem Vortrage von Martin und Caldwell werden denn auch Beobachtungen über Hautreaktionen unter Pflastern nach Bestrahlungen mitgeteilt, die zum Teil auf die Sekundärstrahlen der metallhaltigen Klebemasse zurückgeführt werden können. Weitere wichtige Beiträge zur theoretischen Deutung und quantitativen Wirkung der Sekundärstrahlentherapie lieferten Friedrich und Bender und Gudzent. Sie kamen auf Grund ihrer physikalischen bzw. biologischen Versuche, über die später berichtet werden soll, zu einer ablehnenden Stellungnahme hinsichtlich der Möglichkeit einer erfolgreichen Anwendung der Sekundärstrahlentherapie für klinische Zwecke. Gudzent hatte Gelegenheit, einen Fall von Argyrie zu bestrahlen. In solchen Fällen findet sich das Silber in dichten massenhaften Kügelchen um die Epithelzellen gelagert, so daß in quantitativer Hinsicht äußerst günstige Bedingungen für Vergleichsversuche geschaffen werden. Dennoch zeigten sich bei einer 24stündigen Bestrahlung mit 50 mg Radium und Bestrahlung einer entsprechenden Stelle beim Gesunden mit der gleichen Dosis überhaupt keine Unterschiede zwischen dem sich beiderseits entwickelnden Erythem. Neuerdings wurde von Schreuß ein ähnlicher Fall mit Röntgenstrahlen untersucht und die Angabe von Gudzent bestätigt gefunden.

Nach diesen Arbeiten, welche die Möglichkeit der Sekundärstrahlensensibilisierung so wenig aussichtsvoll erscheinen ließen, mußten die Erfolge um so mehr überraschen, die Ellinger und Gans mit der Injektion von Thoriumnitrat ins Gewebe und darauffolgender Röntgenbestrahlung hatten. Die ersten Experimente wurden an Ratten ausgeführt, an denen in Vorversuchen die ungiftige Wirkung des Thoriumnitrats bei subkutaner Injektion einer 10%igen Lösung in Mengen von 0,2—1,0 ccm festgestellt worden war. Nach einer Röntgenbestrahlung auf derart vorbereitete Hautstellen zeigte sich selbst bei $^1/_{32}$ H.E.D. noch eine deutliche Reaktion, bestehend in Ödem, Haarausfall und Nekrose, während unbestrahlte Kontrollen keinerlei Reaktion und mit Kochsalzlösung

von gleichem osmotischen Druck (1,8%) injizierte und bestrahlte Tiere bei 1 H.E.D. nur ein vorübergehendes örtliches Ödem aufwiesen. Die gegen die Umgebung scharf abgegrenzte Nekrose trat bei den Thoriumtieren um so zeitiger auf, je größer die Dosis gewählt war. Versuche mit isotonischer Lösung zeigten keinen Erfolg. Die Bestrahlung braucht der Injektion nicht unmittelbar zu folgen: auch nach Abklingen des auf die Injektion folgenden primären Ödems nach 3 Tagen hat die Bestrahlung die gleiche Wirkung. Versuche an Lupusherden beim Menschen (0,5 ccm intramuskulär, 1,5 ccm subkutan + 1 H.E.D.) zeigten ebenfalls Ödem und darauffolgende, auf den injizierten Bezirk beschränkte Nekrose, die rasch zur Abheilung kam. Der Mechanismus der Sensibilisierung wird in der Wirkung der von den Thoriumatomen ausgehenden sekundären Elektronen gesehen. In einer späteren Arbeit berichten Ellinger und Rapp über ihre Erfahrungen mit der röntgensensibilisierenden Wirkung von Thoriumsalzen nach intratumoraler Injektion 10%iger Lösung von Thoriumnitrat bei 20 Patienten mit malignen Tumoren. Die Injektion der zweifach hypertonischen Lösung muß wegen der Schmerzen bei der Injektion in Lokalanästhesie oder in Narkose vorgenommen werden. Im Einzelfalle wurden bis zu 25 ccm gegeben. Die Röntgenbestrahlung fand am Tage der Injektion statt. Innerhalb $^1/_{100}$—$^1/_2$ H.E.D. konnte kein Unterschied in der Wirkung festgestellt werden: ein Überschreiten von $^1/_2$ H.E.D. ist unnötig. Das ziemlich bald nach der Injektion auftretende Ödem zwang in einem Falle von metastatischem Submaxillardrüsentumor zur Tracheotomie. Die mit dem Ödem zusammenhängenden Schmerzen waren nach 12 Stunden verschwunden. Nach 2—3 Tagen bildete sich eine schwarzbraune Nekrotisierung. Die Abstoßung der Schorfe erfolgte ohne die geringste Blutung. Die Erfahrungen ermutigten zum Ausbau dieser Behandlungsart. Weniger günstige Ergebnisse hatten Siedamgrotzky und Picard, welche die Methode von Ellinger ebenfalls in der Krebstherapie anzuwenden versuchten. In 3 Fällen von Karzinom der Zunge, der Wange und der Mamma, die mit 10%iger Lösung von Thoriumnitrat umspritzt waren, wurde nach Dosen von $^2/_3$—$^7/_9$ H.E.D. eine Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung erreicht, die nach der Schnelligkeit des Eintrittes wie nach der Stärke der Reaktion bisher in dieser Form nicht beobachtet worden war, allerdings nur in einem Falle zur Besserung, im zweiten zu einem tödlichen Glottisödem, im dritten zu einer schweren Phlegmone der ganzen Umgebung des Bestrahlungsbezirkes geführt hatte. Die Autoren stellen selber den unglücklichen Ausgang der beiden letzten Fälle als Folge zu großer Bestrahlungsdosen hin. Schließlich ist noch das Vorgehen von Sluys zu erwähnen, der, um bei Radium- und Röntgenbestrahlung die sekundäre Betastrahlung im Gewebsinnern für therapeutische Zwecke auszunutzen, feine Nadeln oder biegsame und starre Drähte aus reinem Metall in das Gewebe brachte oder das Gewebe mit Metallsalzen imprägnierte. Als Metalle dienten Gold, Platin, Wismut und Uran oder deren Salze, und zwar wurden sie danach ausgesucht, daß ihre selektive Absorption einer etwas längeren Wellenlänge entsprach, als die Einstrahlung besaß, damit jeweils das Maximum der Sekundärstrahlung für jedes Element erregt wurde. Nach der Bestrahlung können die Sekundärstrahler entweder entfernt oder liegengelassen werden. Makroskopische und histologische Befunde erinnern an die mit Radiumnadeln nach der Spickmethode erzielten Erfolge. In einer Reihe von Arbeiten beschäftigt sich Ghilarducci mit der Frage der klinischen Verwendungsmöglichkeit der Sekundärstrahlentherapie. Seine experimentellen Untersuchungen über die Einwirkung der Sekundärstrahlen verschiedener Metalle auf Bakterienkulturen brachten ihn zu dem Ergebnis, daß bei innigem Kontakt mit dem Gewebe eine erhebliche Wirkungssteigerung ausgeübt werden könne, die er auf die Fluoreszenzstrahlung, und zwar die weiche L-Strahlung zurückführt. Um die Metallstrahler in das Gewebe hineinzubringen, bedient er sich der Ionto-

phorese. Ein mit 0,5%iger Protargollösung getränkter Verbandmull bildete den positiven Pol und wurde 20—60 Minuten lang der Einwirkung eines galvanischen Stromes von 5—20 mA. ausgesetzt. Auf diese Weise gelang es, die Silberionen bis in 2 cm Gewebstiefe zu bringen. Bei der histologischen Untersuchung zeigten sich die Silberpartikelchen den Bindegewebszügen entlang angeordnet und in den Zellkernen. Die klinischen Erfolge in 24 Fällen von Lupus und 11 Fällen von Epitheliomen schienen dem Autor verheißungsvoll und veranlaßten ihn, in der eingeschlagenen Richtung weiterzuarbeiten. Eine wesentliche Rolle bei der Erklärung der günstigen Wirkung spielt die Vorstellung von der biologischen Verschiedenwertigkeit von Strahlen verschiedener Wellenlänge. Weitere klinische Versuche betrafen das Trachom und die Sykosis, wobei stets die Sekundärstrahler mittels Iontophorese ins Gewebe gebracht wurden. Die Beobachtung, daß es auf diesem Wege gelang, Mengen bis zu 7 Erythemdosen auf die Haut zu applizieren, ohne daß es zu einer Nekrotisierung des Gewebes gekommen wäre, beweisen nach Ghilarducci, daß den weichen Sekundärstrahlen eine Sonderwirkung zukommt. Es wird ihnen eine besondere sklerosierende Wirkung zugesprochen, wie sie vorher von dem Autor an dem mit Wismut sensibilisierten Kaninchenmagen studiert worden war. Nach der gleichen Methode von Ghilarducci, jedoch unter Benutzung von Quecksilber statt Silber zur Iontophorese hat Piccaluga eine größere Anzahl von Fällen von Hämorrhoiden behandelt. Die Röntgenbehandlung geschah mit zinkgefilterter Strahlung in einer Dosis von 40—60% H.E.D. Endlich ist in diesem Zusammenhange die Methode der Verkupferung von Wintz zu erwähnen. Auf Grund ausgiebiger Versuche mit L. Seitz, die bis zum Jahre 1913 zurückgehen, ist Wintz seit 1921 dazu übergegangen, alle Fälle von Uteruskarzinom mit der „Verkupferung" zu behandeln. Es werden bei diesem Verfahren ähnlich wie bei Ghilarducci mit Hilfe eines elektrischen Schwachstromes, also auf elektrolytischem und kataphoretischem Wege, von einer in die Scheide eingeführten Anode aus Kupferkationen in den karzinomatösen Tumor und seine Umgebung gebracht. Eine röhrenförmige, an ihrem Ende gießkannenförmig ausgebildete Kupferröhre von ca. 1 cm Durchmesser ist auf die Länge von 4—6 cm frei, der übrige Teil durch Hartgummiüberzug geschützt. Durch Umwicklung mit Zellstoff und Gaze entsteht eine Schwammelektrode, die, um Verbrennungen der Schleimhaut zu vermeiden, der Scheide fest anliegen muß. Durch einen mit der Kupferröhre verbundenen Irrigator wird verdünnte Kupferselenlösung in einer Menge von 15—20 Tropfen in der Minute zugeführt, soviel, daß die Tamponade gut durchfeuchtet ist, aber keine Flüssigkeit aus der Vagina herausläuft. Eine kochsalzgetränkte Kompresse von 30×40 cm auf das Abdomen oder den Rücken gelegt, bildet die Kathode, die Stromquelle besteht aus einem Akkumulator von 3—4 Zellen. Es wird einschleichend der Strom bis auf 40—50 mA. gebracht und im ganzen die Verkupferung 250—300 mA.-Stunden durchgeführt. Untersuchungen ergaben, daß hierbei das Kupfer weit in das dem Tampon benachbarte Gewebe eindringt. Die Wirkung setzt sich nach Wintz zusammen aus der Sekundärstrahlenwirkung, einer desinfizierenden und einer oligodynamischen Wirkung. Die Empfindlichkeit des Karzinomgewebes wird auf diese Weise um 20% gesteigert, die Rückbildung der Tumoren erfolgt etwa doppelt so rasch. Nur bei Überdosierung besteht die Gefahr der Nekrosenbildung in der Nähe der Anode und einer Nierenschädigung, falls dieses Organ vor Einleitung der Behandlung nicht intakt war.

Fassen wir die geschilderten klinischen Versuche mit Metallen als Sekundärstrahlen zusammen, so lassen sich verschiedene Tendenzen unterscheiden, welche die einzelnen Autoren zu ihrer Anwendung veranlaßt haben. Ein Teil der Autoren stellt die pharmakodynamischen Wirkungen der angewandten Metalle und Metallverbindungen in den Vor-

dergrund oder weist ihnen doch einen wichtigen Anteil an dem Zustandekommen der Gesamtwirkung zu. Bei einzelnen Autoren, wie Ghilarducci, bildete den Ausgangspunkt ihres Handelns der Gesichtspunkt, durch die Erzeugung der Sekundärstrahlen mit der Wirkungssteigerung zugleich eine qualitativ anderswertige und vielleicht höherwertige Strahlung zu erzeugen. Allen genannten Autoren gemeinsam ist schließlich der Gesichtspunkt, durch die rein physikalischen Bedingungen der Absorptionsvermehrung und Sekundärstrahlenerzeugung in Metallen und Metallsalzen günstigere Verhältnisse für die Strahlenwirkung zu schaffen. Die Auffassungen über das Ausmaß der zu erreichenden Wirkungssteigerungen, den Modus der Wirksamkeit, die Rolle der sekundären Fluoreszenz- und Elektronenstrahlung oder nur der Absorption gehen allerdings weit auseinander.

Offenbar können die klinischen Beobachtungen am Krankenbett in ihrer Vieldeutigkeit allein darauf die Antwort nicht geben. Von einer Reihe von Autoren wurde denn auch, um tiefer in den Wirkungsmechanismus und die Wirkungsmöglichkeiten der Sekundärstrahlensensibilisierung einzudringen, das Tierexperiment und der Laboratoriumsversuch zu Rate gezogen. Eine kritische Würdigung des hier gesammelten experimentellen Versuchsmaterials und seiner Ergebnisse ist jedoch nur unter weitgehender Berücksichtigung der physikalischen Vorgänge der Strahlenabsorption und Sekundärstrahlenbildung unter den verschiedenen in der Sekundärstrahlentherapie verwirklichten Fällen möglich, die daher im folgenden zunächst gegeben werden soll.

III. Die physikalischen Grundlagen der Strahlentherapie.

A. Die Absorption und charakteristische Strahlung.

Die Möglichkeit der physikalischen Sensibilisierung ist durch die Tatsache gegeben, daß bei der Schwächung der Intensität von Röntgenstrahlen in einer materiellen Schicht ein Teil der aufgenommenen Röntgenstrahlenenergie wieder in Strahlung umgewandelt wird und diese sich zu der Primärstrahlung hinzuaddieren kann. Der Umstand, daß die Sekundärstrahlung in der Regel weicher, d. h. stärker absorbierbar als die Primärstrahlung ist, hat zur Folge, daß die von dem Sekundärstrahler ausgehende, bei der Absorption entstehende Strahlung in seiner näheren Umgebung besonders wirksam werden muß.

Bekanntlich wird eine Röntgenstrahlung bei ihrem Durchgang durch eine materielle Schicht in ihrer Intensitat durch Absorption gemindert, wobei ein Teil der absorbierten Strahlung in andere Energieformen überführt wird. Eine weitere Abnahme der Primärintensität beruht auf dem Vorgange der Streuung, d. h. der Eigenschaft der Materie, einen Teil der durchfallenden Röntgenstrahlen aus der Primärrichtung in eine andere Richtung abzulenken. Wenigstens bestand bis vor kurzer Zeit die Annahme, daß hierbei eine Energietransformation nicht stattfinde, sondern daß die gestreute Röntgenenergie nur in ihrer Strahlrichtung verändert werde. Wie wir noch sehen werden, läßt sich diese Auffassung heute nicht mehr aufrechterhalten (vgl. S. 409).

Die Stärke der Absorption ist in weitem Maße von der Natur der absorbierenden Substanz und von der Qualität der durchfallenden Strahlen abhängig. Was die Materialabhängigkeit anbetrifft, so weiß man seit langem, daß nicht das chemische Verhalten von irgendeinem Einfluß ist, sondern nur die Elemente, aus denen sich der absorbierende Körper zusammensetzt, und zwar ist es, wie bei vielen auf die Atome zu beziehenden Eigenschaften, die Ordnungszahl des betreffenden Elementes, von der die

Stärke seiner Absorption abhängt. In Verbindungen gehorcht die Absorption einem einfachen Additionsgesetz. Seitdem uns die Röntgenspektroskopie mit spektral zerlegten, homogenen Röntgenstrahlen zu arbeiten erlaubt, ist das Suchen nach dem Gesetz, das die Abhängigkeit der Absorptionsgröße von der Ordnungszahl des absorbierenden Elementes und der Wellenlänge beherrscht, besonders in Amerika Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen (Richtmyer, Hewlett, Richtmyer und Grant, Richtmyer und Warbuton, Duane und Mazumder, Allen, Wingårdh). Die Arbeiten der letzten Jahre ergeben übereinstimmend, daß die Absorption eines Atoms nahezu mit der vierten Potenz, die Absorption pro Masseneinheit nahezu mit der dritten Potenz der Ordnungszahl anwächst und angenähert mit der dritten Potenz der Wellenlänge zunimmt. Diese Gesetzmäßigkeit gilt jedoch für jedes einzelne Element nur innerhalb bestimmter Grenzen. Betrachtet man das absorptive Verhalten der betreffenden Substanz, indem man sie nach und nach mit Strahlen immer kürzerer Wellenlänge bestrahlt, so nimmt die Absorption zunächst mit der dritten Potenz der Wellenlänge ab, bei bestimmten, für jeden untersuchten Körper ganz charakteristischen Wellenlängen treten sprunghafte Änderungen der Absorption, sog. „Absorptionssprünge" auf, an denen die Absorption plötzlich auf das Mehrfache des ursprünglichen Wertes ansteigt. Mit der vermehrten Absorption in kausalem Zusammenhange steht die Fähigkeit der Elemente, eine für jedes Element charakteristische Fluoreszenzstrahlung auszusenden. Im ganzen sind 4 derartige Absorptionssprünge und ebenso 4 Gruppen von charakteristischen Fluoreszenzstrahlen vorhanden, die als K-, L-, M- und N-Absorption bzw. Emission bezeichnet werden; allerdings sind bisher erst 3 Absorptionssprünge gemessen worden und nur bei den hochatomigen Elementen, Wismut, Thorium und Uran, sind alle 3 Absorptionssprünge, nämlich der K-, L- und M-Absorptionssprung, bekannt. Geht man in der Elementenreihe weiter nach abwärts, so rücken die Absorptionsgrenzen immer mehr ins langwellige Gebiet. Es beruht hauptsächlich auf Schwierigkeiten experimenteller Art, daß bei den Elementen mit niedrigerer Ordnungszahl als dem Wismut bisher nur 2 Absorptionssprünge und unterhalb vom Silber nur noch 1 Absorptionssprung gemessen sind. Größer ist der Umfang, in dem die charakteristischen Emissionsspektren direkt gemessen sind, was in erster Linie mit günstigeren technischen Bedingungen für ihren Nachweis zusammenhängt. Hier kennen wir bei den schwersten Elementen vom Wismut an sogar die sämtlichen 4 Emissionsgebiete der K-, L-, M- und N-Strahlung, von da bis zum Dysprosium (Ordnungszahl 66) nur noch 3, unterhalb vom Dysprosium nur 2 und vom Nickel (28) an nur noch 1 Emissionsspektrum, das K-Emissionsspektrum. Dieses ist bisher bis zum Element mit der Stellezahl 11, dem Natrium in der Elementenreihe nach abwärts verfolgt. Wenn diese Angaben für das gesamte Gebiet aller bekannten Röntgenstrahlen gelten, so muß hinzugefügt werden, daß in dem Gebiete technisch verwendeter Röntgenstrahlen nur die K-Absorptionssprünge der Elemente mit mittlerem und hohem Atomgewicht und die L-Absorptions- und Emissionsspektren der Elemente mit hohem Atomgewicht in Betracht kommen.

Die Begründung für dieses eigentümliche Verhalten der Elemente bei der Absorption und der Zusammenhang zwischen Steigerung der Absorption und Ausdehnung der charakteristischen Fluoreszenzstrahlung findet seine Erklärung in den inneratomaren Vorgängen bei der Absorption. Bekanntlich besitzt jedes Element eine seiner Ordnungszahl entsprechende Anzahl von Elektronen in seiner Peripherie, die in bestimmten Gruppen (Atomschalen) zusammengeordnet sind, sich in verschiedenem Abstande vom Atomkern befinden und die insgesamt durch die positive Kernladung des betreffenden Atoms gerade abgesättigt werden. Je weiter peripher eine Elektronengruppe gelegen ist,

desto weniger fest ist ihre Bindung an den Kern, desto weniger Energie erfordert es, ein Elektron der Gruppe völlig vom Kern abzulösen. Die dem Kern zunächst liegende Elektronengruppe ist die K-Gruppe, dann folgen in größerer Entfernung vom Kern die L-Gruppe und weiter peripher die M- und N-Gruppe aufeinander. Bei den Elementen mit niedrigem Atomgewicht sind nur die K- und L-Gruppe mit Elektronen besetzt. Erst bei den Elementen mit höheren Ordnungszahlen reicht die in ihnen vorhandene Elektronenzahl aus, um auch die äußeren Atomschalen mit Elektronen zu besetzen. Wenn Atome von Strahlung getroffen werden, so wird ein Teil der in der Strahlung enthaltenen Energie dazu verwandt, um Elektronen vom Kern abzulösen, sie entweder völlig aus der Kernwirkungssphäre zu entfernen oder wenigstens auf eine äußere, vom Kern weiter entfernte, nicht von Elektronen besetzte Bahn zu bringen. Ablösung vom Kern bedeutet Arbeitsleistung gegen die Anziehungskräfte, die vom positiven Kraftfelde des Atomkernes ausgeübt werden. Der hierzu nötige Energieaufwand wird aus der Strahlung entnommen. In der Umsetzung von Strahlungsenergie in Elektronenenergie besteht der primäre Absorptionsvorgang der Strahlung. Denken wir uns ein bestimmtes Atom, sagen wir Platin, in dem K-, L-, M- und N-Ring mit Elektronen besetzt sind, mit immer festerer Bindung der Elektronen an den Kern, je näher wir dem Atomkern kommen, mit der festesten Bindung also in dem kernnächsten K-Ring, und fragen wir uns, was geschieht, wenn es von einer Röntgenstrahlung mittlerer Wellenlänge getroffen wird, fragen wir uns vor allem, bis zu welcher Tiefe die Strahlung in das Atom hineindringt, welche von den energetisch verschiedenwertigen Atomschalen durch die Strahlung beeinflußt wird. Der nächstliegende Gedanke wäre der, daß hierfür die Intensität der Strahlung maßgebend ist. Es hat sich aber gezeigt, daß nur die Wellenlänge der Strahlung darüber entscheidet, in welchem Grade ein bestimmtes Atom von ihr beeinflußt werden kann. Die Wirksamkeit einer Strahlung wird in qualitativer Hinsicht bestimmt durch die Energieelemente, in welche die Strahlung unterteilt ist. Ihre Größe ist ausschließlich von der Wellenlänge der Strahlung bzw. ihrem reziproken Werte der Schwingungszahl in der Weise abhängig, daß das für jede Wellenlänge charakteristische Energieelement, ihrer Schwingungszahl ν multipliziert mit der universellen Planckschen Wirkungskonstante h ($h = 6{,}55 \times 10^{-27}$ erg. pro sec.) proportional ist. Die Schwingungszahl ν ist dabei der Wellenlänge λ indirekt, der Lichtgeschwindigkeit c direkt proportional: $\nu = c/\lambda$.

Bei einer bestimmten Wellenlänge oder, was das gleiche ist, bei einer bestimmten Größe des Energieelementes $h \cdot \nu$ der auf das Atom wirkenden Röntgenstrahlung können alle die Elektronen beeinflußt, d. h. auf höhere Bahnen gehoben oder gar vollständig aus dem Wirkungsbereich des Kernkraftfeldes entfernt werden, für welche die Abtrennungsarbeit kleiner ist als die Energie des Quantums $h \cdot \nu$. Als Abtrennungsarbeit bezeichnet man den Energiebetrag, der notwendig ist, um ein Elektron aus der Anziehungssphäre des Atomkernes, an den es im Normalzustande gebunden ist, völlig zu entfernen. Gehen wir zu kürzeren Wellenlängen über, so wächst das Energieelement $h \cdot \nu$, und bei einer ganz bestimmten Wellenlänge wird es so groß, daß es nunmehr eine neue, fester an den Kern gebundene Elektronengruppe ebenfalls beeinflussen kann. Von dieser Wellenlänge an beteiligt sich plötzlich eine größere Zahl Elektronen des Atoms als bisher an dem Absorptionsvorgang, die Absorption wächst sprunghaft. Jeder Absorptionssprung eines Elementes bezeichnet die Stelle, an der sich eine neue Elektronengruppe an der Absorption beteiligt. Der Zusammenhang zwischen Absorption und Aussendung der charakteristischen Strahlung ist in folgendem gegeben: ein durch Strahlung beeinflußtes Atom, in dem entweder Elektronen die ihnen mit der Strahlung zugeführte Energie dazu benutzt haben, um auf äußere Bahnen zu springen, oder das Atom voll-

ständig verlassen haben, enthält in diesem sog. „angeregten" Zustande einen Überschuß an Energie, der wieder frei wird, wenn die leergewordenen Plätze in dem Elektronengefüge des Atoms von irgendwelchen in der Umgebung der Atome stets vorhandenen Elektronen wieder besetzt werden. Bei diesem Vorgange der Elektronenrückkehr wird gerade soviel Energie gewonnen, wie vorher aufgewendet worden ist, um das Atom anzuregen, und diese Energie wird als Strahlung nach außen abgegeben. Die Wellenlänge der ausgesendeten Eigen- oder Fluoreszenzstrahlung richtet sich nach den Energieverhältnissen in dem Gefüge des betreffenden Atoms, und zwar ist sie, da $\nu = c/\lambda$ und die gewonnene Energie in ein Energiequantum von der Größe $E = h \cdot \nu$ umgewandelt wird,

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{E} \tag{1}$$

d. h. um so kleiner, je fester das strahlende Elektron an den Kern gebunden ist.

Was nun die Größe der Energieelemente einer Wellenstrahlung im Verhältnis zur Größe der Abtrennungsarbeiten der Elektronen betrifft, so läßt sich darüber folgendes sagen: beim sichtbaren Licht reichen die Energieelemente im allgemeinen nicht aus, um Elektronen völlig aus der Wirkungssphäre der Kerne zu entfernen (Ausnahmen bilden z. B. die Kaliumzelle). Nur Elektronenverschiebungen auf den äußersten Bahnen kommen vor, und die bei der Rückkehr der Elektronen in den Normalzustand gewonnene Energie wird als Fluoreszenzstrahlung sichtbaren Lichtes nach außen abgegeben. Die Wellenstrahlen des sichtbaren Lichtes vermögen nur die Peripherie der Atome zu beeinflussen. Da ihre Konfiguration in Verbindungen verschiedener Atome, d. h. in Molekülen, mannigfachen Veränderungen ausgesetzt ist, so ist das Verhalten der Materie gegen Licht von der molekularen Zusammensetzung der absorbierenden Substanzen abhängig, eine Eigenschaft der Moleküle. Gehen wir zum Ultraviolett über, so reichen die Energieelemente in der Regel aus, um die Elektronen völlig aus der Kernwirkungssphäre zu entfernen, sie treten als freie Elektronen auf und lassen sich bei geeigneter Versuchsanordnung als solche nachweisen (lichtelektrischer Effekt). Erst bei den Röntgenstrahlen mit einer Wellenlänge, die mehrere tausend Mal kürzer ist und deren Energieelemente um ebensoviel größer sind, hat die Energie der Quanten einen genügend großen Wert, um auch die inneren Elektronenschalen der Elemente mit höherer Ordnungszahl zu beeinflussen, und zwar Atome mit um so größerer Kernladung, je kleiner die Wellenlänge der Erregerstrahlung ist. Wir verstehen jetzt, warum die Absorption der Röntgenstrahlen, die sich an den inneren Elektronen der Atome abspielt, von der Konfiguration in der von der Strahlung getroffenen Moleküle unabhängig ist, warum die Absorption der Röntgenstrahlen eine reine Atomfunktion ist, und wir sehen ein, daß die Grenze der Absorption für eine bestimmte Elektronenschale mit steigender Ordnungszahl immer kurzwelliger werden muß. Wir begreifen ferner, warum bei der Röntgenfluoreszenz die erregende Wellenlänge stets kurzwelliger sein muß als die ausgesendete Fluoreszenzstrahlung; denn es kann nie mehr Energie bei der Rückkehr der Elektronen zum Atom gewonnen werden, als vorher zur Anregung der Atome aufgewendet wurde. In der Tabelle 1 sind für eine Reihe der wichtigsten Elemente die Wellenlängen angegeben, bei denen der Absorptionssprung des K-, L- und M-Niveaus eintritt, und ferner die Wellenlängen der wichtigsten Emissionslinien, bei der K-Emissionsserie der K_α-Linie, bei der L-Emission, die eine erhebliche spektrale Ausdehnung hat, der Linien α_1 und γ_1. Auf die Wiedergabe der M- und N-Emissionslinien ist verzichtet, weil ihnen für die Praxis keinerlei Bedeutung zukommt. Die Wellenlängenzahlen, auf 3 Stellen

abgerundet, sind den Tabellen von Siegbahn entnommen. Die Regelmäßigkeit des Weiterrückens der Absorptionskante bzw. der Emissionslinien nach der Seite kleinerer Wellenlängen in jeder Reihe ist nur der Ausdruck dafür, daß die Energieverhältnisse der inneren Elektronen im Atom ausschließlich von der Kernladung beherrscht werden.

Was die absolute Größe der Absorption in Abhängigkeit von Material und Wellenlänge und die Größe des Absorptionssprunges anbetrifft, so wird als Maßstab für sie allgemein ein Absorptionskoeffizient durch die zahlenmäßige Angabe des Betrages der Einfallstrahlung definiert, der in der Einheit der Schichtdicke unter der Voraussetzung zur Absorption gelangen würde, daß von einer Schwächung der Strahlung innerhalb der Schicht abgesehen werden könnte. Dividiert man diese Größe, für deren Bezeichnung allgemein der Buchstabe μ eingeführt ist, durch das spezifische Gewicht der betreffenden Substanz, so erhält man den Massenabsorptionskoeffizienten $\mu\,\rho$.

Tabelle 1.

Wellenlängen der K-, L_1- und M_1-Absorptionsgrenzen und der K- und L-Emission.

Element	K	L_1	M_1	$K\alpha_1$	$L\alpha_1$	$L\gamma_1$
12 Mg	9,51			9,87		
13 Al	7,94			8,32		
15 P	5,76			6,14		
16 S	5,01			5,36		
19 K	3,43			3,73		
20 Ca	3,06			3,35		
24 Cr	2,07			2,28		
25 Mn	1,89			2,10		
26 Fe	1,74			1,93		
29 Cu	1,38			1,54	13,3	
30 Zn	1,30			1,43	12,2	
33 As	1,04			1,17	9,65	
34 Se	1,00			1,10	8,97	
35 Br	0,917			1,04	8,36	
38 Sr	0,770			0,873	6,85	
42 Mo	0,618			0,708	5,39	4,71
47 Ag	0,484	3,68		0,558	4,15	3,51
50 Sn	0,422	—		0,489	3,59	2,99
53 J	0,371	2,71		—	3,14	2,58
56 Ba	0,331	2,36		—	2,77	2,24
74 W	0,178	1,21		0,209	1,47	1,10
78 Pt	0,158	1,07		0,185	1,31	0,955
79 Au	0,152	1,04			1,27	0,924
80 Hg	0,148	1,01			1,24	0,893
82 Pb	0,138	0,97			1,17	0,837
83 Bi	0,135	0,921	4,76		1,14	0,811
90 Th	0,113	0,758	3,72		0,953	0,651
92 U	0,107	0,720	3,49	0,154	0,908	0,613

Das grundlegende Absorptionsgesetz, für dessen Ableitung auf die Lehrbücher der Physik und Röntgenkunde verwiesen werden muß, lautet für eine homogene Strahlung:

$$I = I_0\, e^{-\mu \cdot d} \tag{2}$$

wo I_0 die Intensität der Strahlung an der Oberfläche, I die Intensität der Strahlung in der Tiefe d, μ der Absorptionskoeffizient und e die Basis des natürlichen Logarithmus ist.

Was die Streuung anbetrifft, durch die, wie wir gesehen haben, die Primärstrahlung abgesehen von der eigentlichen Absorption beim Durchgang durch eine Substanzschicht geschwächt wird, so kann man in analoger Weise wie den Massenabsorptionskoeffizienten μ einen Streuungskoeffizienten s bzw. einen Massenstreuungskoeffizienten s/ρ definieren. Nach der von Allen kürzlich auf Grund ausgedehnter Messungen im Wellenlängengebiet 1,0—0,51 Å.E. aufgestellten allgemeinen Formel ist:

$$\mu/\rho = C \cdot \lambda^n \cdot N^p + s/\rho \qquad (3)$$

In dieser Formel bedeutet λ die Wellenlänge, N die Ordnungszahl des betreffenden Elementes; n ist = 2,92; p ebenfalls = 2,92; C eine Konstante, die einen verschiedenen Wert annimmt, je nachdem, ob es sich um eine Primärstrahlung handelt, die weicher oder härter ist als die K-Erregungsgrenze. Auf der längerwelligen Seite der K-Erregungsgrenze bezeichnen wir sie als C_L, jenseits des Absorptionssprunges als C_k. In der Tabelle 2

Tabelle 2. Absorptionsformeln, hergeleitet aus Messungen mit spektral zerlegten Röntgenstrahlen.

Jahr	Autor	Wellenlängenbereich Å.E.	Material	Allgemeine Formel
1920	Richtmyer und Grant	0,08—0,48	Aluminium, Kupfer, Wasser	$\mu/\rho = 6{,}58 \times 10^{-3} N^3 \lambda^3 + 0{,}155$
1921	Richtmyer	0,17—0,8	Aluminium, Molybdän, Silber, Blei	$\mu/\rho = [K\lambda^3]_0^K + [L\lambda^3]_0^L + \sigma/\rho$
1921	Richtmyer	0,093—0,95	Wasser, Aluminium, Kupfer, Molybdän, Silber, Blei	$\mu_a = 22{,}9 \times 10^{-27} N^4 \lambda^3 + \sigma_a$ μ_a = Atomabsorption
1923	Richtmyer u. Warburton	unterhalb der K-Absorptionsgrenze	Kobalt, Nickel, Eisen, Kupfer	$\mu_a = 22{,}4 \times 10^{-27} N^4 \lambda^3 + \sigma_a$
1923	Windgårdh	0,156—0,254	Aluminium, Kobalt, Kupfer, Zink, Silber, Zinn	$\mu/\rho = C\lambda^3 + k$; $C = \frac{Z^{2 \cdot 95}}{124{,}7}$
1924	Allen	0,1—0,51	Kohlenstoff, Magnesium, Aluminium, Schwefel, Eisen, Nickel, Zink, Silber, Zinn, Wolfram, Platin, Gold, Blei, Wismut	in der Atomform: $\mu_a = C\lambda^n N^p + \sigma_a$ $C_K = 2{,}19 \times 10^{-26}$ n = 2,92 p = 4 als Massenabsorptionsgesetz: $\mu/\rho = C\lambda^n N^p + \sigma/\rho$ σ/ρ = 0·14 bis 0·7 $C_L = 1 \times 10^{-3}$ C_K = 7,85 bis 3,3 $\times 10^{-3}$ n = 2,92 p = 2,92

sind die Resultate neuerer Absorptionsmessungen mit spektral zerlegten Röntgenstrahlen zusammengestellt und jedesmal angegeben, für welchen Wellenlängenbereich die Untersuchung stattgefunden hat. Es geht daraus hervor, in welchen Grenzen die vorliegenden allgemeinen Formeln bereits als endgültig angesehen werden können.

Über die Größe des Absorptionssprunges sind wir bei den Elementen mittleren Atomgewichtes schon seit den klassischen Untersuchungen von Barkla und Sadler ziemlich genau orientiert. Die neueren Messungen mit spektral zerlegtem Licht haben sie im wesentlichen bestätigt. In der Formel von Allen bringt offenbar der Unterschied zwischen C_L und C_K zum Ausdruck, auf das Wievielfache des Betrages vor dem Absorptionssprung die Absorption an der Erregungsgrenze der K-Strahlung ansteigt. Nach Allen erhöht sich die Absorption an der K-Absorptionsgrenze bei den Elementen mit mittlerem Atomgewicht (Silber) auf etwa den 7fachen Wert und fällt bis zum Wismut auf 3,3. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß das Hinzukommen von nur 2 Elektronen, nämlich der beiden Elektronen des K-Ringes, die Absorption auf den mehrfachen Wert steigert, obwohl diese beiden hinzukommenden Elektronen doch bei den höheratomigen Elementen nur einen winzigen Bruchteil aller Atomelektronen ausmachen. Zu einer Erklärung dieses Verhaltens fehlen uns noch die Unterlagen, aber vielleicht hängt es damit zusammen, daß die beiden K-Elektronen bei steigender Ordnungszahl relativ immer weniger im Verhältnis zur Gesamtzahl der Atomelektronen ausmachen, wenn der K-Absorptionssprung mit steigendem Atomgewicht immer kleiner wird.

Über die absolute Größe der charakteristischen Sekundärstrahlenemission besitzen wir nur ein verhältnismäßig dürftiges experimentelles Material, das nach mehrfacher Richtung begrenzt ist. Einmal betrifft es nur die Sekundärstrahlung von Metallen mit mittlerem Atomgewicht (Chromsilber), und zweitens stammen die vorhandenen Zahlen aus der Zeit, in der man noch nicht mit spektral zerlegter Röntgenstrahlung arbeitete. In Betracht kommen die Arbeiten englischer Autoren, von Barkla und Sadler, Bragg und Porter und Whiddington. Sadler war es insbesondere, der für eine Reihe von Metallen die Emissionsstärke charakteristischer Sekundärstrahlung bestimmte, falls sie von der Röntgenfluoreszenzstrahlung eines zweiten höheratomigen Metalles getroffen wurde und eine Reihe von Zahlenwerten gewann, aus denen neben der Abhängigkeit der maximal emittierten Sekundärstrahlung von dem Atomgewicht des Strahlers auch besonders die Abhängigkeit der Intensität der charakteristischen Sekundärstrahlung von der Qualität der erregenden Röntgenstrahlung hervorging. Barkla und Sadler definierten einen Emissionskoeffizienten K einer Substanz in der gleichen Weise wie den Absorptionskoeffizienten μ als den Bruchteil der auffallenden Strahlung, der von der Einheit der Schichtdicke unter der Voraussetzung in Sekundärstrahlung umgesetzt wird, daß eine Intensitätsverminderung innerhalb der Schicht nicht stattfindet. In den insbesondere von Sadler gefundenen Werten von K und ihrer Abhängigkeit von der Härte der erregenden Röntgenstrahlung einerseits und von der Natur des Sekundärstrahlers anderseits erkannte Glocker unter Berücksichtigung der inzwischen gemessenen Wellenlängen der charakteristishen Metallsekundärstrahlen einfache gesetzliche Zusammenhänge, die durch die beiden Formeln:

$$K_A = 3{,}3 \cdot \rho \cdot Z \tag{4}$$

und

$$K = K_A \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^4 \tag{5}$$

gegeben sind. In diesen Formeln bedeutet K_A den Emissionskoeffizienten der charakteristischen Sekundärstrahlung K an der Erregungsgrenze, ρ die Dichte des Sekundärstrahlers, Z die Ordnungszahl, λ die Wellenlänge der Primärstrahlung, λ_0 die der Absorptionsbandkante.

Es ist also, zunächst in dem Intervall der Sekundärstrahler Chrom bis Kupfer,

deren Werte Glocker bei seiner Rechnung zugrunde legen konnte, K_A, das Maximum des Emissionskoeffizienten K in einem Volumenelement des sekundärstrahlenspendenden Metalles, dessen Ordnungszahl und außerdem seiner Dichte proportional. Und ebenso nimmt der Emissionskoeffizient rasch von seinem Maximum ab, wenn die Wellenlänge der erregenden Strahlung sich von der Wellenlänge der Absorptionsbandkante entfernt.

Mehr als der Emissionskoeffizient K und sein Maximum an der Absorptionskante K_A interessiert uns der Prozentsatz der in dem Sekundärstrahler absorbierten Primärstrahlung, der in charakteristische Sekundärstrahlung umgesetzt wird. Über diese Größe, die wir k nennen wollen, liegen nur einige Angaben von Bragg und Porter für wenige Metalle vor, aus denen hervorgeht, daß etwa 20—35 % der Primärstrahlung in Sekundärstrahlung umgewandelt wird, und zwar ein mit der Atomzahl des Sekundärstrahlers steigender Prozentsatz (Tabelle 3).

Tabelle 3. Emissionskoeffizienten k der prozentischen Sekundärstrahlenemission einiger Metalle nach Bragg und Porter.

Ordnungszahl	Sekundärstrahler	Erregende Strahlen sind K-Strahlen von		
		Zink	Arsen	Zinn
13	Aluminium	—	—	—
26	Eisen	0,135	0,200	0,155
28	Nickel	0,132	0,293	0,262
29	Kupfer	—	0,340	0,313
30	Zink	—	0,371	0,356
50	Zinn	—	—	—
Wellenlängen K_α der Erregerstrahlen sind:		1,43 Å.E.	1,17 A.E.	0,49 A.E.

Man könnte den Prozentsatz der in Sekundärstrahlung umgewandelten Primärstrahlung auch auf einem anderen Wege berechnen, nämlich unter der Voraussetzung der Gültigkeit der Gleichung (4) und Division des aus ihr berechneten Wertes durch den Absorptionskoeffizienten der Primärstrahlung im Sekundärstrahler. Handelt es sich doch bei der prozentischen Absorption um das Verhältnis von Emission und Absorption, und diese beiden Größen werden durch K, resp. μ in analoger Weise dargestellt. Leider führt die Glockersche Formel, wenn man sie extrapoliert, bei den schweratomigen Elementen zu Werten von K, die größer werden, als der Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung an der Absorptionsbandkante. Glocker selbst bezweifelt denn auch schon, ohne allerdings gerade auf diesen Zusammenhang hinzuweisen, ob seine Formel überhaupt eine Extrapolation verträgt. Kossel hält die Gültigkeit der beiden Glockerschen Formeln für den Gang des Emissionskoeffizienten mit der Ordnungszahl des Sekundärstrahlers und mit der Wellenlänge der Primärstrahlung ebenfalls für zweifelhaft, und zwar auf Grund einer Kritik der Sadlerschen Werte für K und K_A, bzw. der Rechnungen, die Sadler anstellte, um sie aus seinen Messungen herzuleiten. In einer neueren Arbeit kommt er, von theoretischen Erwägungen ausgehend, zu dem Resultat, daß das Umsetzungsverhältnis von primärer in sekundäre Fluoreszenzstrahlung an der Erregungsgrenze gleich, oder nahezu gleich 1 ist.

Kossel geht von quantentheoretischen Erwägungen aus, und zwar von der Vorstellung, daß jedes Quant bei seiner Absorption höchstens die Veranlassung eines Sekundärstrahles werden kann. In einer gegebenen Schicht des Sekundärstrahlers werden pro Oberflächeneinheit von der Primärstrahlung absorbiert: N Quanten von der Energie E_p.

$$E_p = N \cdot h \cdot \nu_p,$$

wo E_p die absorbierte Energie der Primärstrahlung bezeichnet, ν_p die Frequenz der Primärstrahlung ist. Von diesen Quanten werden bei der Primärstrahlung ν_p der Bruchteil u also im ganzen $u \cdot N$ Quanten in Sekundärstrahlung von der Energie $E_s = u \cdot N \cdot h \cdot \nu_p$ umgesetzt.

Um die Größe u zu bestimmen, benutzt Kossel ebenso wie Glocker die Sadlerschen Zahlen für den Emissionskoeffizienten. Er berücksichtigt aber die zuerst von Holthusen für die Energieberechnung aus Ionisationsmessungen herangezogene Abhängigkeit der Trägerbildung von der Wellenlänge (Geschwindigkeit der ausgelösten Primärelektronen) nach den Tabellen von Lenard und zeigt, daß mit dieser Korrektur die Sadlerschen Messungen eine Unabhängigkeit der Größe K von der Wellenlänge beweisen. Er hält es für möglich, daß $u = 1$ ist, d. h. daß jedes primäre Absorptionsereignis jenseits der Absorptionsbandkante Anlaß für die Emission eines Sekundärstrahles wird, obgleich auch denkbar ist, daß die Energie eines Teiles der N angeregten Atome des Sekundärstrahlers nicht in Form von Wellenstrahlung, sondern (nach einem zuerst von Rosseland beschriebenen Mechanismus) als Elektronenenergie abgegeben wird. Hierfür würde sprechen, daß mit der charakteristischen Fluoreszenzstrahlung, wie wir seit Dorn wissen, das Auftreten von Elektronenbildung vergesellschaftet ist. Neueste exakte Versuche von Barkla und Dallas zeigen jedoch, daß an der Absorptionsbandkante höchstens 7 % der mehr absorbierten Energie in Form von Elektronenstrahlung erscheinen. Sind diese Messungen zuverlässig, so würden sie besagen, daß weitaus der größte Teil der mehrabsorbierten Energie an der Erregungsgrenze der Fluoreszenzstrahlung in sekundäre Wellenstrahlung übergeführt wird, und damit würde die Kosselsche Vermutung, daß u nahezu gleich 1 ist, eine gewichtige Stütze erfahren. Kossel bezweifelt, daß u irgendwie vom Material des Sekundärstrahlers abhängt und stellt deswegen, wie schon erwähnt, die Allgemeingültigkeit der Glockerschen Formel (4) in Frage. Ebensowenig liegt Grund für die Annahme einer Abhängigkeit des Faktors u von der Wellenlänge der Primärstrahlung vor, denn wie Kossel mit Recht ausführt, ist die Frage, wieviel Prozent der insgesamt im K-Ring angeregten Atome ihre Energie in Form von Strahlung emittieren, wieviele sie als Energie bewegter Elektronen wieder aussenden, unabhängig von der Art (Wellenlänge) der erregenden Strahlung. Damit würde aber auch die Glockersche Gleichung (5) hinfällig.

Etwas anderes ist es allerdings, wenn wir eine Energiebilanz über den Prozentsatz der absorbierten Primärstrahlung aufstellen, der als Sekundärstrahlung wiedererscheint. Zunächst kann man davon ausgehen, daß an der Absorptionsgrenze nur der Zuwachs an Absorption in charakteristische Sekundärstrahlung umgesetzt wird. Steigt also die Absorption auf den siebenfachen Wert, so ist anzunehmen, daß an der Absorptionsgrenze $^6/_7$ der Primärstrahlung im K-Ring, $^1/_7$ von den übrigen Elektronen aufgenommen werden. Ob dieses Verhältnis beim Übergang zu kürzeren Wellenlängen der Erregerstrahlung das gleiche bleibt, ist nicht sicher. Es wäre denkbar, daß die Wahrscheinlichkeit dafür, wieviel Prozente der gesamten absorbierten Strahlung von den Elektronen des K-Ringes aufgenommen werden, an der Erregungsgrenze ein Maximum hätte. Darüber wissen wir nichts. Aber die Abnahme des Absorptionssprunges mit steigender Ordnungszahl zeigt soviel, daß die prozentische Sekundärstrahlenemission mit steigender Ordnungszahl langsam abnimmt. Was die Wellenlängenabhängigkeit der prozentischen Sekundärstrahlenemission anbetrifft, so haben wir nach der Quantentheorie davon auszugehen, daß ein absorbiertes primäres Quant auch nur ein Sekundärquant auslösen kann. Die Energie des Sekundärquants bleibt stets die gleiche, unabhängig davon, ob

es durch ein Primärquant ausgelöst wurde, das — an der Erregungsgrenze — gerade etwas größer war als das Sekundärquant oder durch ein Primärquant von einer mehrere Oktaven größeren Schwingungszahl und einem dementsprechend um das Mehrfache größeren Energieinhalt. Infolgedessen muß sich mit abnehmender Wellenlänge der Primärstrahlung über die Erregungsgrenze hinaus die Energieausbeute in der Sekundärstrahlung immer ungünstiger gestalten, und zwar im Verhältnis der Wellenlängen der Primärstrahlung zu der der Sekundärstrahlung. Die Quantentheorie fordert, daß die emittierte Sekundärstrahlenenergie beim Übergang zu kürzeren Wellenlängen von der Erregungsgrenze her im Verhältnis $\frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ abnimmt, wenn λ_p die primäre Wellenlänge, λ_s die sekundäre Wellenlänge bezeichnet.

Das mechanische Bild, nach welchem wir uns mit Bohr den primären Wellenstrahlenabsorptionsvorgang vorstellen können, gibt uns auch die Antwort auf die sich hier stellende Frage nach dem Verbleib des absorbierten Energieüberschusses. Wir erinnern uns, daß bei jedem Absorptionsereignis ein Atomelektron ein volles Quant aufnimmt und dessen Energie dazu benutzt, um gegen die Anziehungskraft vom Atomkern her Arbeit zu leisten. Bisher hatten wir nur den Fall ins Auge gefaßt, daß die absorbierte Energie gerade ausreicht, um das beanspruchte Elektron auf eine äußere Bahn zu heben, oder gerade aus der Kernwirkungssphäre zu entfernen. Übertrifft die in dem absorbierten Quant enthaltene Energie die Abtrennungsarbeit, so teilt sie dem absorbierenden Elektron eine Bewegungsenergie E mit, die gleich der Quantenenergie $h \cdot \nu$, vermindert um die Abtrennungsarbeit A ist:

$$E = h \cdot \nu - A \tag{6}$$

Der Energieüberschuß erscheint in Form von Elektronenstrahlung. Daß die Elektronen, die aus den mit einer Primärröntgenstrahlung von der Frequenz ν bestrahlten Atomen herausgetrieben werden, dem oben angegebenen Gesetz entsprechende Geschwindigkeiten haben, konnten de Broglie und Widdington zeigen. Und zwar ergaben sich, je nachdem die emittierten Elektronen aus dem K-, L- oder M-Niveau stammten, für die in ihnen enthaltene Energie die Formeln:

$$\begin{aligned} E_K &= h \cdot \nu - A_K \\ E_L &= h \cdot \nu - A_L \\ E_M &= h \cdot \nu - A_M \end{aligned} \tag{7}$$

wo A_K, A_L, A_M die Abtrennungsarbeiten für die Elektronen des K-, L- und M-Niveaus bedeuten.

B. Die Elektronenstrahlung.

Die Betrachtung des Energieüberschusses bei der Umsetzung von absorbierter Primärstrahlung in Sekundärstrahlung zeigte uns den Ursprung der sekundären Elektronenstrahlung. Allgemein können wir also sagen, daß der Betrag der Primärstrahlung, der bei der Absorption in einer materiellen Schicht in Elektronenstrahlung umgesetzt wird, gleich ist der absorbierten Primärenergie abzüglich der Abtrennungsarbeit für die absorbierenden Atomelektronen. Bei Elementen mit niedrigem Atomgewicht ist die Abtrennungsarbeit, die zugleich den Anteil der gesamten absorbierten Energie darstellt, der in Fluoreszenzwellenstrahlung umgewandelt wird, stets gering gegenüber der gesamten Energieabsorption. Bei den Elementen mit höherer Ordnungszahl und in der Nähe der Erregungsgrenzen für charakteristische Strahlen kann sie aber bedeutende Werte annehmen.

Wir wissen heute, daß der Energieüberschuß über die Abtrennungsarbeit bei der Primärstrahlenabsorption nicht die einzige Quelle für die Entstehung von Elektronenstrahlen ist, sondern haben seit einiger Zeit in den bei dem Vorgange der Streuung entstehenden sog. „Compton-Elektronen" eine weitere Ursache für Elektronenbildung kennengelernt. Es darf heute als sichergestellt gelten, daß die Streuung von Röntgenstrahlen ebenfalls quantenhaft, in abgeteilten Energieeinheiten $h \cdot \nu$ erfolgt, daß bei einem Teil aller Streuvorgänge ein mit der Härte der Primärstrahlung wachsender Betrag von Primärstrahlung in Elektronenstrahlung übergeht und daß um ebensoviel das Quant der gestreuten Strahlung kleiner ist als das der Primärstrahlung. Das heißt aber nichts anderes, als daß die Streustrahlung weicher ist als die Primärstrahlung, wie es durch Compton bei seinen Messungen gefunden wurde. Bothe hat die Compton-Elektronen mit der Wilsonschen Nebelmethode direkt nachweisen können. Aus seinen Messungen ging zugleich hervor, daß sie bei den in der Medizin verwendeten Röntgenstrahlengemischen eine verhältnismäßig geringe Rolle spielen, machten sie doch bei 86 Kilovolt erst 1 % der gesamten Ionisationswirkung aus. Mit abnehmender Wellenlänge wächst dieser Betrag rasch an: In einer neuerdings von Fricke und Glasser ausgeführten Bestimmung desjenigen Anteils der durch Röntgenstrahlen in Luft verursachten Ionisation, der auf Rechnung der Compton- oder Rückstoßelektronen zu setzen ist, fand sich bei der Untersuchung mit spektral zerlegter Röntgenstrahlung ein Verhältnis der Ionisation durch Absorptionselektronen zu der Ionisation durch Rückstoßelektronen (Streuelektronen), das bei $\lambda = 0{,}18$ Å.E. 0,28, also kaum $^1/_3$ betrug, bei $\lambda = 0{,}115$ Å.E. auf weniger als $^1/_{10}$, nämlich 0,094 absank. Da das Verhältnis von Streuung und Absorption im Wasser und damit auch im Gewebe ähnlich ist, wie in der Luft, so müßten die genannten Zahlen auch für den Körper zutreffen. Bei Radiumgammastrahlen beruht die Ionisationswirkung wahrscheinlich so gut wie ausschließlich auf Compton-Elektronen.

Die Bedeutung der Elektronenstrahlung für die Sensibilisierung beruht darauf, daß sie außerordentlich absorbierbar ist und daß die bei jedem Absorptionsakt ausgelösten „Primärelektronen", wie wir sie zum Unterschied von den „Sekundärelektronen" nennen, die sie selber auf ihrem Absorptionswege aus den Molekülen, mit denen sie zusammenstoßen, in Freiheit setzen, die gesamte Energie, die ihnen beim Absorptionsakte mit auf den Weg gegeben wurde, in der unmittelbaren Umgebung ihres Entstehungsortes erschöpfen. Je größer die von ihnen aufgenommene Energie, desto größer ist ihre Geschwindigkeit und desto größer der Weg, den sie bis zu ihrer völligen Erschöpfung zurücklegen. Anders als bei Röntgenstrahlen zeigt die Absorption der Elektronenstrahlen nicht den raschen Anstieg mit der Ordnungszahl des Absorbers, sondern ist der Masse proportional. Bezeichnen wir als „Wirkungsweite" der Elektronenstrahlen den Weg,

Tabelle 4.

Wellenlänge Å. E.	Voltgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen	Prozente der Lichtgeschwindigkeit	Wirkungsweite in Millimetern
1	$1{,}2 \times 10^4$	0,22	—
0,75	$1{,}67 \times 10^4$	0,25	—
0,5	$2{,}5 \times 10^4$	0,3	0,0103 mm
0,25	$5{,}0 \times 10^4$	0,41	0,049 „
0,15	$8{,}32 \times 10^4$	0,505	0,13 „
0,10	$1{,}25 \times 10^5$	0,6	0,29 „
0,08	$1{,}56 \times 10^5$	0,65	0,47 „
0,06	$2{,}08 \times 10^5$	0,7	0,65 „

den sie zurücklegen, bis ihre Energie auf 1 % gesunken ist, so können wir auf Grund der von Lenard gegebenen Daten berechnen, wie groß der Aktionsradius der zu bestimmten Röntgenstrahlen gehörigen Elektronenstrahlen im Gewebe ist, wenn wir annehmen, daß jedes Elektron den gesamten Betrag des Röntgenstrahlenenergiequantums aufgenommen hat (Tabelle 4). Bei Metallen als Sekundärstrahlenspendern ist nach den Gleichungen (7) allerdings der Energiebetrag der Abtrennungsarbeit in Abzug zu bringen. Aus der Tabelle 4 ersehen wir, daß selbst bei den härtesten Therapiestrahlen die Wirkungsweiten der Primärelektronen höchstens Bruchteile eines Millimeters betragen.

C. Die Streustrahlung.

Während bis vor kurzem als Charakteristikum des Streuvorganges der Röntgenstrahlen gerade die völlige Übereinstimmung der Wellenlänge der gestreuten Strahlung mit der Primärstrahlung gelten konnte, kann diese Charakterisierung des Streuvorganges heute keine Allgemeingültigkeit mehr beanspruchen. Denn wie berichtet, haben neuere Messungen ergeben, daß die Wellenlänge der Streustrahlen wenigstens bei großen Ablenkungswinkeln etwas größer ist als die der Primärstrahlen. Ist ν_p die Schwingungszahl der Primärstrahlung, ν_s die der Sekundärstrahlung und E die Energie, die von dem Elektron aufgenommen wird, an dem der Streuvorgang sich abspielt, und ihm einen Impuls mitteilt, so gilt:

$$h \cdot \nu_p = h \cdot \nu_s + E \qquad (8)$$

und es muß daher, wenn E einen endlichen Wert hat, ν_s kleiner sein als ν_p. Erfahrungsgemäß sind ν_p und ν_s nur sehr wenig voneinander unterschieden. Dennoch kann die Summe der Vorgänge E merklich werden, da im Gewebe, wenigstens bei harten Strahlen, auf sehr wenige Absorptionsvorgänge sehr viele Streuvorgänge kommen. Es ändert sich nämlich die Größe der Streuung, als deren Maß auf S. 403 der Streukoeffizient s bzw. der Massenstreukoeffizient s/ρ definiert wurde, mit der Härte nicht oder nur wenig, während die Absorption mit der dritten Potenz der Wellenlänge abnimmt. Auf diese Weise kommt es, daß im Gewebe bei Bestrahlung mit harten Therapiestrahlen auf 95 % gestreuter Strahlung nur 5 % absorbierte Strahlung kommen. Auch von der Natur des Strahlers ist die Größe des Streustrahlenkoeffizienten weitgehend unabhängig. Soweit die Messungen bisher als zuverlässig zu gelten heben (man darf nie vergessen, daß die Werte für s/ρ alle auf indirektem Wege gewonnen sind!) darf man sagen, daß der Massenstreukoeffizient bei den leichtatomigen Elementen bis zum Kupfer etwa 0,16 beträgt und weiter in der Elementenreihe im Vergleich zum Absorptionskoeffizienten nur wenig, nämlich bis etwa 0,5 ansteigt.

So groß die praktische Bedeutung der Streuung für die Intensitätsverteilung in der Strahlentherapie und so groß die theoretische Bedeutung der Comptonschen Streuelektronen (Rückstoßelektronen) ist, so spielen sie doch bei dem hier zur Erörterung stehenden Problem der Sensibilisierung durch Sekundärstrahlen keine Rolle. Die Gründe dafür werden auseinanderzusetzen sein, wenn nunmehr dazu übergegangen wird, auf Grund der im vorhergehenden gegebenen physikalischen Grundlagen das Problem der Sekundärstrahlensensibilisierung von seiner theoretischen Seite her zu betrachten.

IV. Die Theorie der Sekundärstrahlensensibilisierung.

Wie erwähnt, geht der Vorschlag, die bei der Absorption von Röntgenstrahlen entstehenden Sekundärstrahlen für die Röntgentherapie auszunutzen, von folgenden, zuerst von Barkla angestellten Erwägungen aus: Bei harten Röntgenstrahlen, deren Anwendung in der Tiefentherapie unumgänglich notwendig erscheint, wenn man einen

allzu großen Intensitätsverlust im Körperinnern vermeiden will, liegen die Verhältnisse für die Ausnutzung der Röntgenstrahlung wegen des sehr niedrigen Absorptionskoeffizienten des Gewebes recht ungünstig. Es müßte möglich sein, durch Hinzubringen von Körpern mit einer im Verhältnis zum Gewebe wesentlich stärkeren Absorption, wenn die Zunahme der Absorption zugleich eine Vermehrung wirksamer Sekundärstrahlung bedeutet, diese für das Gewebe nutzbar zu machen, und zwar würde hierfür sowohl die sekundäre Fluoreszenzstrahlung wie die Elektronenstrahlung in Betracht kommen. Der Grad der Ausnutzung der Sekundärstrahlung müßte mit der Feinheit der Verteilung des Sekundärstrahlers im Gewebe zunehmen, weil mit zunehmender Aufteilung des Sekundärstrahlers ein wachsender Betrag der Sekundärstrahlung im Gewebe selbst wieder absorbiert wird. Die Wirkungssteigerung müßte um so größer ausfallen, als es Elemente gibt, welche die 30—50fache Absorption des Gewebes besitzen, so daß von ihnen auch dann noch eine sehr kräftige Sekundärstrahlenwirkung ausgehen müßte, wenn durch die Anwesenheit des Sekundärstrahlers im Gewebe die Absorption auf $^1/_{10}$ und weniger herabgemindert sein sollte.

Nach der Theorie von Barkla, die wir auch heute noch einer grundsätzlichen Betrachtung der Vorgänge bei der physikalischen Sensibilisierung zugrunde legen können, ist die Voraussetzung für eine Wirkungssteigerung eine Vermehrung der Absorption. Daß es so sein muß, kann nach allgemeinen energetischen Prinzipien nicht zweifelhaft sein. Darum sind aber auch Wirkungssteigerungen nur durch die mit dem Vorgang der Absorption verknüpften Sekundärstrahlungen möglich, nicht dagegen durch die beim Streuungsvorgang etwa auftretenden Rückstoßelektronen. Denn nur die Absorption läßt sich durch Hinzufügen von Substanzen mit höherem Atomgewicht günstiger gestalten, nicht dagegen die Streuung vermehren, da für sie die Verhältnisse im Gewebe am günstigestn liegen. Wohl nimmt der Streukoeffizient mit steigendem Atomgewicht etwas zu, jedoch in der ganzen Elementenreihe höchstens auf den dreifachen Wert. Sehr viel rascher wächst mit steigendem Atomgewicht die Absorption. Infolgedessen wird ein mit dem Atomgewicht wachsender Anteil der gebildeten Streustrahlung in dem betreffenden Sekundärstrahler selbst wieder absorbiert. Dieser, die Intensität der Streustrahlung vermindernde Effekt überkompensiert die geringe Zunahme des Streustrahlenkoeffizienten mit der Ordnungszahl. Infolgedessen gilt der allgemeine Satz, daß die Streustrahlenemission eines Körpers um so größer ist, je niedriger sein Atomgewicht. Rein theoretisch betrachtet würde sich allenfalls mit einer Substanz wie dem Paraffin, dessen Absorption noch geringer ist, als die des Gewebes, und bei welcher der reichliche Gehalt an Wasserstoffatomen eine besonders intensive Streuwirkung zur Folge hat, eine Wirkungssteigerung durch Streustrahlenvermehrung erzielen lassen. Doch kommt ein solches Vorgehen natürlich praktisch nicht in Frage.

Bei der Betrachtung der quantitativen Verhältnisse der Sekundärstrahlenwirkungen in den Anwendungsformen, die sich praktisch verwirklichen lassen, sind 2 Fälle zu unterscheiden:

A. Es handelt sich um einen Sekundärstrahler von massiver Form;

B. der Sekundärstrahler findet sich fein verteilt im Gewebe.

Im ersten Falle sind zwei Unterabteilungen zu unterscheiden:

1. Der Sekundärstrahler befindet sich hinter der zu beeinflussenden Gewebsschicht (Sekundärstrahlung der Inzidenzseite);

2. der Sekundärstrahler befindet sich zwischen der Strahlenquelle und der zu beeinflussenden Gewebsschicht (Sekundärstrahlung der Emergenzseite).

Ferner ist in allen Fällen die sekundäre Wellenstrahlung und die Elektronenstrahlung gesondert zu betrachten.

A. Massive Sekundärstrahler.

1. Sekundäre Wellenstrahlung der Inzidenzseite.

Die Theorie der Sekundärstrahlenemission einer metallischen Platte als Sekundärstrahler ist zuerst von Bragg und Porter, dann vor allem ausführlich von Großmann und später von Glocker behandelt worden. Bragg und Porter stellten Versuche über den absoluten Wert des Sekundärstrahlenemissionskoeffizienten an, indem sie mit der Ionisationsmethode die sekundäre Wellenstrahlung maßen, die von einer mit homogener Röntgenstrahlung bestrahlten Metallplatte ausging. Diese bestand ihrerseits in den Eigenstrahlungen bestimmter Metalle. Um in diesem Falle aus dem gemessenen Ionisationswert auf die Größe der Sekundärstrahlenemission eines Volumelementes des Sekundärstrahlers zu schließen, und dadurch einen brauchbaren Zahlenwert für den Emissionskoeffizienten zu erhalten, mußten sie berücksichtigen, daß infolge der Absorption der Primärstrahlung beim Eindringen in den Sekundärstrahler die Sekundärstrahlenbildung mit zunehmender Eindringungstiefe abnahm und daß infolge der mit zunehmender Tiefe wachsenden Absorption der gebildeten Fluoreszenzstrahlen im Sekundärstrahler selbst, die entstehenden Sekundärstrahlen nicht vollständig zur Wirkung kamen. Sie fanden, daß die Intensität der Sekundärstrahlung an einem beliebigen Punkte der Oberfläche eines plattenförmigen metallischen Sekundärstrahlers, dessen Oberfläche der Einfachheit der Rechnung halber unendlich groß angenommen wurde, von der Intensität der Primärstrahlung und dem spezifischen Emissionsvermögen des Sekundärstrahlers abhängig und außerdem eine Funktion des Verhältnisses der Absorptionskoeffizienten der Primärstrahlung und der Sekundärstrahlung im Sekundärstrahler sei. Sie berechneten diese Funktion und fanden für sie den Verlauf, der in Abb. 1 graphisch wiedergegeben ist. Großmann übernahm die Braggschen Rechnungen und stellte für das Verhältnis der durch die Fluoreszenzstrahlung in einem Volumelement (z. B. Gewebselement) an einem beliebigen Punkte der Oberfläche eines plattenförmigen Sekundärstrahlers gewonnene Dosis D_{s_0} zu der von der Primärstrahlung herrührenden Dosis D_{p_0} die Gleichung auf:

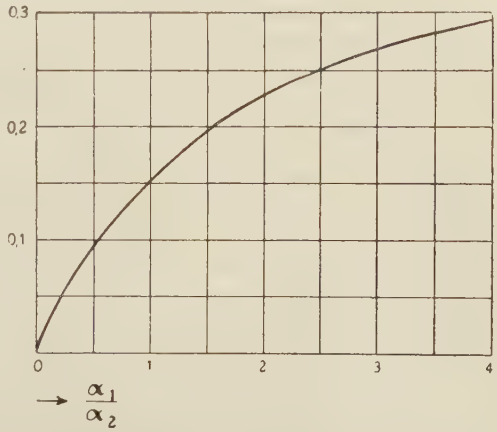


Abb. 1. Verlauf von $F(\alpha_1/\alpha_2)$ der Inzidenzstrahlung (nach Großmann).

$$\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \cdot k \cdot f \tag{9}$$

Er gelangte zu dieser Gleichung durch folgende Überlegungen: Die Intensität der Sekundärstrahlung an der Oberfläche des Sekundärstrahlers ist abhängig 1. von der Intensität der Primärstrahlung I_{p_0}, 2. von der prozentigen Sekundärstrahlung k und 3. von dem nach Bragg und Porter zu bestimmenden Werte der Funktion $f(\alpha_1/\alpha_2)$, wo α_1 den Absorptionskoeffizienten der Primärstrahlung, α_2 den Absorptionskoeffizienten der Sekundärstrahlung bedeutet, und zwar besteht mit I_{p_0} und k direkte Proportionalität, so daß geschrieben werden kann:

$$I_{s_0} = I_{p_0} \cdot k \cdot f(\alpha_1/\alpha_2).$$

Da aber in unserem speziellen Fall weniger das Verhältnis der Intensitäten von Primär- und Sekundärstrahlung in dem betrachteten Volumelement von Wichtigkeit ist, sondern das Verhältnis der Dosen, und nach einem Grundgesetz der Dosimetrie das Verhältnis der Dosen, die ein Gewebselement von 2 Strahlungen mit den Intensitäten I_1 und I_2 mit den Absorptionskoeffizienten β_1 und β_2 (der Primär- und Sekundärstrahlung im Gewebe) erhält,

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{I_1 \cdot \beta_1}{I_2 \cdot \beta_2}$$

ist, so läßt sich das Verhältnis der in dem Volumelement V auf der Inzidenzseite absorbierten Dosis primärer und sekundärer Strahlung durch die Gleichung (9) zum Ausdruck bringen.

Großmann hat nach dieser Formel für 4 Elemente, nämlich Kupfer und Zink als Repräsentanten leichterer Metalle, Silber als Beispiel eines Metalles von mittlerem Atomgewicht und Gold als Beispiel für ein Element mit hohem Atomgewicht das Verhältnis von D_{s_0}/D_{p_0} in einem Gewebselement an der Oberfläche des Sekundärstrahlers ausgerechnet. Und zwar unter der Voraussetzung, daß diese Metalle von Primärstrahlen getroffen werden, deren Wellenlängen $^1/_2$—2 Oktaven und tiefer liegen, als die charakteristische Strahlung des Sekundärstrahlers. Bei der Berechnung der D_{s_0}/D_{p_0}-Werte standen ihm nur für Kupfer und Zink die experimentell bestimmten Zahlen von Bragg und Porter zur Verfügung (vgl. Tabelle 3). Bei diesen beiden Elementen ergab die Ausrechnung ein Maximum für den Beitrag der Sekundärstrahlung an der Gesamtwirkung von etwas weniger als 40 %, etwa 2 Oktaven unterhalb der Erregungsgrenze. Bei der Berechnung der Werte für Silber waren keine experimentell bestimmten Zahlen für k vorhanden. Sie wurde deswegen hypothetisch gleich 0,5 gesetzt und als von der Wellenlänge unabhängig angenommen. Unter dieser von dem Autor selber als wahrscheinlich nicht zutreffend bezeichneten Voraussetzung ergab sich eine Sekundärstrahlenwirkung an der Oberfläche des Sekundärstrahlers, die um so stärker wurde, je weiter sich die Wellenlänge der Primärstrahlung von der Erregungsgrenze nach der kurzwelligen Seite entfernte. Sie hatte bei einer Strahlung, die etwa eine Oktave kurzwelliger war als die Erregerstrahlung, erst den Betrag von 75 % der Primärstrahlung erreicht [1]). Beim Gold endlich beschränkt sich Verf. nur auf die Betrachtung der L-Sekundärstrahlen und spricht nur die Vermutung aus, daß die Sekundärstrahlenemission mit der Härte abnimmt.

Zu einer einfachen Darstellung der Funktion $f(\alpha_1/\alpha_2)$ kommt Glocker, wenn er das Verhältnis von α_1/α_2 gleich c setzt, nämlich:

$$f(c) = {}^1/_2 - \frac{1}{2c} \ln (1 + c).$$

Was die Gültigkeit der von Großmann für den Betrag der Sekundärstrahlenwirkung auf der Inzidenzseite berechneten Werte D_{s_0}/D_{p_0} anbetrifft, so hängen sie davon ab, mit welcher Sicherheit die Werte von k bekannt sind. Es wurde schon darauf hingewiesen (S. 405), daß nach neuerer Auffassung (Kossel) die Größe k wahrscheinlich größer zu berechnen ist, als es von Bragg und Porter aus ihren Messungen geschehen ist, und daß sie an der Erregungsgrenze nahezu gleich 1 wird, um mit abnehmender Wellenlänge

[1]) in der Arbeit von Großmann sind die Erregerstrahlungen entweder durch Angabe der Metalle, deren charakteristische Fluoreszenzstrahlen als Erregerstrahlen dienten, oder durch Angabe ihrer Halbwertschicht in Wasser charakterisiert. Der Einheitlichkeit der Darstellung halber, wurde von uns die Umrechnung auf Wellenlängenwerte vorgenommen.

im Verhältnis $\frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ abzunehmen. Ziehen wir diese Überlegungen, die viel für sich haben, in Betracht, und benutzen für f (c) die Glockersche Formel, so nimmt die Großmannsche Formel folgende Gestalt an:

$$\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = \frac{\beta_s}{\beta_p} \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda_s} \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2c} \ln (1 + c)\right] \tag{10}$$

In dieser Formel ist:

D_{s_0} = Sekundärstrahlendosis in einem Gewebselement an der Oberfläche des Sekundärstrahlers;

D_{p_0} = Primärstrahlendosis in einem Gewebselement an der Oberfläche des Primärstrahlers;

β_p = Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Gewebe;

β_s = Absorptionskoeffizient der Sekundärstrahlung im Gewebe;

$c = \frac{\alpha_p}{\alpha_s}$;

α_p = Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Sekundärstrahler;

α_s = Absorptionskoeffizient der Sekundärstrahlung im Sekundärstrahler.

Da in dieser Formel nur das Verhältnis der Absorptionskoeffizienten im Primär- und Sekundärstrahler vorkommt, so können wir bis zu einem gewissen Grade unabhängig von der Natur des Sekundärstrahlers ganz allgemein die Änderung der prozentigen Sekundärstrahlenemission beim Übergang zu kürzeren Wellenlängen angeben, wenn wir sie auf bestimmte — in Oktaven und Bruchteilen einer Oktave bzw. Bruchteilen der Wellenlänge der Sekundärstrahlung anzugebende — Wellenlängenunterschiede zwischen Primär- und Sekundärstrahlung beziehen. Eine Änderung von Metall zu Metall tritt nur insofern ein, als das Verhältnis α_p/α_s wegen der verschiedenen Größe des Absorptionssprunges in verschiedenen Metallen bei einem bestimmten Wellenlängenabstand von der Erregungsgrenze und damit eines bestimmten β_p/β_s nicht immer das gleiche ist.

In der Tabelle 5 sind unter Benutzung der obigen Formel (10) die Werte von D_{s_0}/D_{p_0}

Tabelle 5. Verhältnis von K-Sekundär- und Primärstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Erregerstrahlung beim Silber. Inzidenzstrahlung.

λ_p in Prozenten von λ_s [1])	$\frac{\lambda_s^{1{\cdot}92}}{\lambda_p^{1{\cdot}92}}$	c	f (c)	D_{s_0}/D_{p_0}
0,867[2])	1,32	5,18	0,324	0,428
0,75	1,745	3,39	0,282	0,494
0,65	2,29	2,23	0,242	0,553
0,55	3,16	1,36	0,185	0,585
0.5	3,8	1,03	0,165	0,627
0,4	5,81	0,54	0,101	0,586
0,25	14,32	0,137	0,034	0,467
0,125	54,2	0,0181	0,008	0,217

für Silber berechnet, und zwar je für die Erregungsgrenze sowie für eine Reihe von Wellenlängen, die zwischen dieser und 1 Oktave niedriger liegen, und weiter für Wellenlängen, die 2 und 3 Oktaven kürzer sind. Die Formel (10) läßt sich für die Berechnung

[1]) $\lambda s_{(a_1)} = 0{,}558$ Å.E.

[2]) Wellenlänge der Erregungsgrenze; $\lambda = 0{,}484$ Å.E.

noch etwas vereinfachen. Unter Zugrundelegung der Formel von Allen, wonach sich die Absorptionskoeffizienten mit $\lambda^{2 \cdot 92}$ ändern, und unter Berücksichtigung der Tatsache, daß in der Formel (10) nur das Verhältnis der Absorptionskoeffizienten vorkommt, können wir auf die Berechnung der Absorptionskoeffizienten verzichten und dafür das Verhältnis der λ-Werte setzen. Bei der Berechnung der Größen c ist allerdings zu berücksichtigen, daß nur α_p nach der Formel zu berechnen ist, die jenseits des K-Absorptionssprunges gilt, also unter Einsetzung des Wertes für C_K in die Formel (3). Wir erinnern uns, daß C_K für Silber 7,85 beträgt (vgl. S. 404) und setzen für

$$c = \frac{\alpha_p}{\alpha_s} = \frac{7{,}85 \times \lambda_p{}^{2 \cdot 92}}{\lambda_s{}^{2 \cdot 92}} \quad \text{und für} \quad \frac{\beta_s}{\beta_p} = \frac{\lambda_s{}^{2 \cdot 92}}{\lambda_p{}^{2 \cdot 92}}.$$

Formel (10) nimmt dann nach einer sich leicht ergebenden Zusammenziehung folgende vereinfachte Form an:

$$\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = \frac{\lambda_s{}^{1 \cdot 92}}{\lambda_p{}^{1 \cdot 92}} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2c} \ln (1 + c) \right] \tag{10a}$$

Aus der Tabelle 5 geht hervor, daß sich zu der Primärstrahlung eine Sekundärstrahlung hinzuaddiert, die, wenn wir uns von der Erregungsgrenze nach der kurzwelligen Seite entfernen, zunächst einem Maximum zustrebt, das etwa eine Oktave unterhalb der Wellenlänge der K-Strahlung erreicht wird und dann kontinuierlich abnimmt. Übersichtlicher noch kommt in der graphischen Darstellung der Abb. 2 der Verlauf von D_{s_0}/D_{p_0} als Funktion des Wellenlängenverhältnisses von Primär- und Sekundärstrahlung zum Ausdruck.

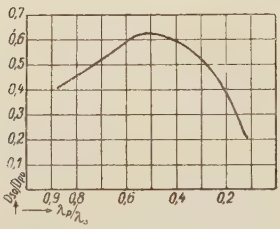


Abb. 2. D_{s_0}/D_{p_0} der Inzidenzstrahlung als Funktion von λ_p/λ_s.

Die an der Inzidenzseite eines metallischen Sekundärstrahlers unter günstigsten Bedingungen zu erreichende Dosisvergrößerung von etwa 60 % wird jedoch aus dem Grunde in Wirklichkeit geringer ausfallen, weil bei Anwesenheit des Metallsekundärstrahlers die Rückstreuung aus den unterhalb des bestrahlten Gewebselementes liegenden Metallschichten erheblich geringer ausfällt, als wenn die Rückstreuung tieferer Metallschichten wirksam ist. Auch darf nicht vergessen werden, daß alle Rechnungen nur unter der vereinfachten Annahme einer homogenen Primärstrahlung gültig sind, ein Fall, der in der Praxis auch bei stark gefilterter Strahlung nicht annähernd verwirklicht ist.

2. Die sekundäre Wellenstrahlung der Emergenzseite.

Die von der Emergenzseite eines Metallstrahlers ausgehende Sekundärstrahlung und ihr Verhältnis zur Primärstrahlung wurde ebenfalls von Großmann, wenn auch in einem etwas anderen Zusammenhange, berechnet. Und zwar ergab sich diese Fragestellung bei einer Erörterung des Problems der Sekundärstrahlen als Gefahrenquellen. Die Berechnung des Verhältnisses der hinter einem Metallfilter aus diesem austretenden charakteristischen Sekundärstrahlung zur Primärstrahlung führte zu einer Formel von analogem Bau, wie für die Inzidenzstrahlung. Wieder war

$$I_{s_0} = I_{p_0} \cdot k \cdot F.$$

Der Verlauf von F als Funktion von α_p/α_s wurde von Großmann auf graphischem Wege gefunden, ihr Verlauf ist in Abb. 3 dargestellt. Allerdings gelten die Werte ohne

weiteres nur unter der Voraussetzung einer unendlich dicken Sekundärstrahlerschicht, doch möchte Großmann ihren Geltungsbereich für Sekundärstrahlerschichten, die etwa 3 mm Aluminium äquivalent sind, bis zu einem Betrage der Größe α_p/α_s von 0,75 ansetzen. Die Berechnungen für verschiedene Sekundärstrahler und verschiedene Erregerstrahlen führen Großmann zu folgenden Schlüssen:

1. Die von einem bestimmten Filter ausgesandte Emergenzstrahlenenergie kommt einem um so höheren Prozentsatz der von dem Sekundärstrahler hindurchgelassenen Primärstrahlenenergie I_{p_0} gleich, je weicher die Primärstrahlung ist.

2. Die auf eine bestimmte Intensität der in den Sekundärstrahler eintretenden Primärstrahlung I_{pi} bezogene Intensität der Emergenzstrahlung wächst bei Zunahme der Härte der Primärstrahlung an und strebt einem Maximum zu, das allerdings in den von Großmann gegebenen Beispielen, in denen die erregende Wellenlänge bis 2 Oktaven kürzer war als die K-Strahlung (Eisen), noch nicht erreicht wurde.

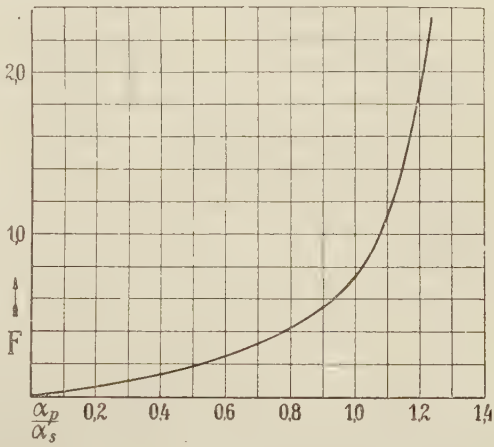


Abb. 3. Verlauf von F (α_p/α_s) der Emergenzstrahlung (nach Großmann).

Wiederum sind es weniger die Intensitäten und ihr Vergleich, die unser Interesse in Anspruch nehmen, sondern die absorbierten Dosen. Hier zeigt sich nach Großmann, daß die ungewollte Sekundärstrahlendosis, welche die unter dem Sekundärstrahler liegende Schicht aufnimmt, im Vergleich zur Dosis, die sie von der Primärstrahlung empfängt, ebenfalls mit der Härte der Primärstrahlung abnimmt. Vergleicht man die Summe von Primär- und Sekundärstrahlendosis hinter dem Sekundärstrahler ($D_{s_0} + D_{p_0}$) mit der Strahlendosis, die die unmittelbar darunterliegende Schicht ohne die Anwesenheit des Sekundärstrahlers erhalten hätte (D_{pi}), so wird das Verhältnis $\left(\frac{D_{s_0} + D_{p_0}}{D_{pi}}\right)$ mit abnehmender Wellenlänge der Primärstrahlung ebenfalls kleiner.

Auch für die aus einem Sekundärstrahler in der Richtung der Primärstrahlung austretende Fluoreszenzstrahlung hat Glocker eine Formel von ähnlicher Form aufgestellt wie für die Inzidenzstrahlung, indem sich unter der Voraussetzung, daß $c = \alpha_p/\alpha_s$ kleiner als 1 ist, für f (c) die Form:

$$f(c) = -\tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} c \ln (1 - c)$$

ergab. Allerdings trifft diese Voraussetzung nur dann zu, wenn die Erregerstrahlung wesentlich kurzwelliger ist als die im Sekundärstrahler erregte Fluoreszenzstrahlung. An der Erregungsgrenze wird bekanntlich von dem Eigenstrahler die erregende Primärstrahlung mehrfach so stark absorbiert wie die emittierte Fluoreszenzstrahlung. Erst etwa 1 Oktave unterhalb der Erregungsgrenze wird die Glockersche Formel brauchbar.

Für die Berechnungen von D_{s_0}/D_{p_0} der Emergenzstrahlung in der Tabelle 6 ist, da sich die Berechnung nach der Glockerschen Formel für kleine Werte von c als unsicher erwies, die Großmannsche graphische Darstellung der Funktion F bzw. die von ihm in seinen Tabellen berechneten Werte von F als Funktion von c benutzt

Tabelle 6. Verhältnis von K-Sekundär- und Primärstrahlung beim Silber in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Erregerstrahlung. Emergenzstrahlung.

λ_p in Prozenten von λ_s	$\lambda_s^{1{\cdot}92}/\lambda_p^{1{\cdot}92}$	c	f (c)	D_{s_0}/D_{p_0}	$\frac{D_{s_0}+D_{p_0}}{D_{pi}}$ [1])
0,5	3,8	0,54	0,8	3,04	0,23
0,25	14,32	0,137	0,04	0,57	1,07
0,125	54,2	0,0181	0,004	0,217	1,16
0,0625	205,4	0,00237	0,0006	0,123	1,11

worden, im übrigen die Formel in analoger Weise wie Formel (10) aufgebaut und vereinfacht, so daß sie die Form annimmt:

$$\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = \frac{\lambda_s^{1\cdot 92}}{\lambda_p^{1\cdot 92}} F(c), \quad c = \frac{7\cdot 85 \times \lambda_p^{2\cdot 92}}{\lambda_s^{2\cdot 92}}.$$

Es zeigt sich in Übereinstimmung mit Großmann eine rasche Abnahme des Beitrages der Sekundärstrahlung an der Gesamtstrahlenwirkung hinter dem Sekundärstrahler beim Übergang zu härteren Strahlen.

Soll die Frage beantwortet werden, ob und in welchem Grade sich die Dosis in einem Gewebselement durch Zwischenschalten eines Sekundärstrahlers im Vergleich zur Dosis ohne sein Vorhandensein verstärken läßt, ein Fall, der z. B. verwirklicht ist, wenn etwa ein metallhaltiges Pflaster auf der Haut liegt, so kommt es, wie schon erwähnt, auf das Verhältnis der Summe der Primär- und Sekundärstrahlendosis unter dem Sekundärstrahler $(D_{s_0} + D_{p_0})$ zu der Dosis an der Oberfläche des Sekundärstrahlers bzw. ohne Sekundärstrahler an. Will man das Verhältnis $\frac{D_{s_0}+D_{p_0}}{D_{pi}}$ berechnen, so muß eine Festsetzung über die Dicke der Sekundärstrahlerschicht getroffen werden, und zwar im Falle unserer allgemeinen Annahme als Funktion des Absorptionskoeffizienten der charakteristischen Sekundärstrahlung im Sekundärstrahler. Wir nehmen willkürlich an, daß der Sekundärstrahler eine Schichtdicke von 4 Halbwertschichten $= 4a_s$ hat und daß in diesem Falle praktisch alle Sekundärstrahlung, die überhaupt wirksam werden kann, auch gebildet wird, so daß die Gleichung (10a) gültig bleibt. Es gilt dann:

$$D_{p_0} = D_{pi}\, e^{-\alpha_p \cdot 4a_s}, \text{ und da } a_s = \frac{0\cdot 693}{\alpha_s}: D_{p_0} = D_{pi}\, e^{-2\cdot 77c} \qquad (11)$$

Setzen wir ferner: $\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = b$, $D_{s_0} = bD_{p_0}$, so wird: $\frac{D_{s_0}+D_{p_0}}{D_{pi}} = \frac{D_{p_0}(b+1)}{D_{pi}}$ und nach (11) $= \frac{D_{pi}e^{-2\cdot 77c}(1+b)}{D_{pi}} = e^{-2\cdot 77c}(1+b)$ (11a)

Die Tabelle 6 zeigt, daß das Verhältnis der Summe von Primär- und Sekundärstrahlung hinter einem Filter zur Primärstrahlung ohne Filter durch ein Maximum hindurchgeht, allerdings erst bei einer Wellenlänge, die um 3 Oktaven tiefer liegt als die Wellenlänge der erregten K-Strahlung. Von da an strebt das Verhältnis $\frac{D_{s_0}+D_{p_0}}{D_{pi}}$ mit weiter abnehmender Wellenlänge, wie leicht verständlich ist, dem Grenzwert 1 zu. Das Auftreten des Maximums wird durch folgende Überlegung verständlich: Offenbar

[1]) Für eine Schichtdichte des Sekundärstrahlers von 4 Halbwertschichten der Sekundärstrahlung.

nimmt zunächst das Verhältnis $D_{p_o} D_{pi}$ schneller zu, als das Verhältnis D_{s_o}/D_{p_o} abnimmt. Die Höhe des Maximums hängt von der Stärke der Sekundärstrahlenemission und von der Filterdicke ab. Die Abhängigkeit des Maximums von der Filterdicke zu berechnen, läßt die Gleichung (10) allerdings nicht zu, da mit abnehmender Dicke die Funktion F (u) sich in zunächst nicht bekannter Weise ändert.

Wenn wir von dem Kosselschen quantentheoretischen Ansatz für die Entstehung der Sekundärstrahlung ausgehen, können wir die Berechnung der Sekundärstrahlenwirkung auch noch in etwas anderer Weise durchführen: Wir betrachten den allgemeinen Fall, daß die Sekundärstrahlerdicke $4\,a_s$ beträgt, wo a_s die Halbwertschicht der charakteristischen Strahlung in der Sekundärstrahlersubstanz ist. Wir setzen $x \cdot a_s = u$ und wählen ferner die Intensität der Strahlung so, daß in einem beliebigen Volumelement du im Gewebe an der Oberfläche des Sekundärstrahlers $N \cdot du$ Absorptionsereignisse in der Zeiteinheit eintreten. In dem gegenüberliegenden Volumelement gleicher Größe im Sekundärstrahler werden in der gleichen Zeit $N \cdot \alpha_p/\beta_p \cdot du$ Absorptionsereignisse stattfinden, wo α_p der Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Sekundärstrahler, β_p der Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Gewebe ist. Bezeichnet K den Prozentsatz der Absorptionsereignisse, der zur Sekundärstrahlenemission führt, so werden $K \cdot N \cdot \alpha_p/\beta_p$ Sekundärstrahlenquanten gebildet. Wir setzen mit Kossel $K = 1$. Die Sekundärstrahlenwirkung in einem Gewebselement du an der Oberfläche des Sekundärstrahlers setzt sich zusammen aus der Sekundärstrahlung aller Elemente du der Sekundärstrahlerschicht, deren Wirkungsbeitrag ähnlich wie in den früheren Betrachtungen (Formel 9 und 10) eine Funktion des Verhältnisses der Absorptionskoeffizienten der Primärstrahlung (α_p) und der Sekundärstrahlung (α_s) in dem Sekundärstrahler ist:

$$f(u) = f(\alpha_p, \alpha_s), \text{ und da } \alpha_p \text{ und } \alpha_s \text{ von } \lambda_p \text{ und } \lambda_s \text{ abhängen, } = \varphi(\lambda_p, \lambda_s).$$

Wir erhalten dann, indem wir von der Integration nach den beiden anderen Raumkoordinaten absehen, für die Sekundärstrahlenwirkung auf das Volumelement des Gewebes einen Ausdruck von der Form:

$$N \frac{\alpha_p}{\beta_p} \int_0^{ku} f(u)\, du = N \frac{\alpha_p}{\beta_p} F(u)\, du.$$

Wir vergleichen nun das Verhältnis der absorbierten Sekundärstrahlung in dem Gewebselement du zur absorbierten Primärstrahlung in dem gleichen Volumelement, also unter Benutzung der gleichen Bezeichnungen wie früher, des Verhältnisses D_{s_o}/D_{p_o}, und zwar einmal bei einer Primärstrahlung, die gerade an der Erregungsgrenze liegt, und das andere Mal einer Primärstrahlung, die um 1 Oktave kürzer ist. Da es sich hier um die absorbierten Dosen handelt, so haben wir noch zu berücksichtigen, daß in N Quanten der Sekundärstrahlung nur eine Energiemenge steckt, die um $N \frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ kleiner ist als die N Quanten der absorbierten Primärstrahlung, wo λ_p die Wellenlänge der Primärstrahlung und λ_s die Wellenlänge der Sekundärstrahlung ist, und daß von N Quanten der Sekundärstrahlung nur $N\ \beta_p$ Quanten im Gewebe absorbiert werden. Wir erhalten so für das Verhältnis D_{s_o}/D_{p_o} den Ausdruck:

$$\frac{D_{s_o}}{D_{p_o}} = \alpha_p \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda_s} \cdot F(u) \qquad (12)$$

Auf Grund dieser Gleichung läßt sich folgendes sagen: Bei gleichem Verhältnis der Wellenlänge der Erregerstrahlung zur Wellenlänge der erregten Fluoreszenzstrahlung ist die spezifische Sekundärstrahlenwirkung $D_{s_0} D_{p_0}$ auf ein Volumelement des Gewebes an der Oberfläche des Sekundärstrahlers abhängig von der Absorption der Primärstrahlung im Sekundärstrahler. Die Sekundärstrahlenemission ist ceteris paribus um so ausgiebiger, je größer die Absorption im Sekundärstrahler ist. Entfernen wir uns mit der Primärstrahlung von der Erregungsgrenze, so ändert sich $\frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ und F (u). Das Verhältnis der Wellenlängen von Primär- und Sekundärstrahlung nimmt ab. F (u) verhält sich verschieden, je nachdem wir die Inzidenz- oder Emergenzseite ins Auge fassen. Betrachten wir zunächst die Inzidenzseite, so läßt sich folgendes sagen: Bei gleicher Anzahl Absorptionsvorgänge an der Sekundärstrahleroberfläche ($N \cdot d u = \text{const.}$ für alle Wellenlängen) finden in der in Betracht gezogenen Schicht des Sekundärstrahlers von der Dicke $k \cdot a_s$ um so mehr Absorptionsereignisse statt und führen zur Sekundärstrahlenemission, je härter die Primärstrahlung ist. Denn um so langsamer erfolgt ihr Intensitätsabfall. Es wird also F (u) mit abnehmender Primärwellenlänge größer und strebt einem Grenzwerte zu, der dann erreicht ist, wenn die Absorption in der für die Sekundärstrahlenbildung in Betracht kommenden Schicht $k \cdot a_s$ praktisch vernachlässigt werden kann. Wenn F (u) anfangs rascher zunimmt, als $\frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ abnimmt, so wird auch D_{s_0}/D_{p_0} anfangs größer werden, wie es die Zahlen der Tabelle 5 zeigen. Leider liegt eine Berechnung der Funktion F (u) in der Form, wie wir sie definiert haben, noch nicht vor.

Gehen wir jetzt zu einer Betrachtung der Emergenzstrahlung über, so nimmt, wie sich leicht einsehen läßt, F (u) mit abnehmender Primärwellenlänge erst rasch und dann allmählich ab, um ebenfalls einem Grenzwerte zuzustreben, der wiederum erreicht ist, wenn die Schwächung der Primärstrahlung bei weiterer Abnahme der Primärwellenlänge sich nicht mehr ändert. Die Abnahme der Funktion F (u) beruht darauf, daß, bezogen auf gleiche Zahl der Absorptionsereignisse in dem Element d u an der Oberfläche des Gewebes, gegenüber der Oberfläche des Sekundärstrahlers, in den tiefen Schichten bei einer weichen Primärstrahlung sehr viel mehr Absorptionsereignisse stattfinden und zur Sekundäremission Veranlassung geben, als bei harten Strahlen, bei denen die Intensitätszunahme im Filter gegen die Primärstrahlenrichtung nur gering ist. Da $\frac{\lambda_p}{\lambda_s}$ ebenfalls abnimmt, so wird D_{s_0}/D_{p_0} mit abnehmender Wellenlänge zuerst rasch und dann langsamer kleiner werden.

Zusammenfassend kommen wir zu dem Schluß, daß eine Wirkungssteigerung in der Umgebung eines metallischen Sekundärstrahlers nur in bescheidenem Umfange möglich ist. Offenbar gelingt es auch im günstigsten Falle nicht, die Wirkung an der Oberfläche des Sekundärstrahlers auch nur zu verdoppeln. Darauf, daß das Maximum der berechneten Wirkung deswegen in praxi nicht erreicht wird, weil wir es stets mit weitgehend inhomogenen Strahlen zu tun haben, wurde schon hingewiesen (S. 414).

Ein weiterer Umstand, der den Umfang der Sekundärstrahlenemission beeinträchtigt, besteht darin, daß sie in der Regel wesentlich leichter absorbierbar ist als die Primärstrahlung und ihre Wirkung daher von der Sekundärstrahleroberfläche her im Gewebe rasch abfällt. Diese Tatsache und die nach Formel (12) vorauszusehende Zunahme der wirksam werdenden Sekundärstrahlung mit steigender Absorption des Sekundärstrahlers muß uns dazu führen, bei der Auswahl geeigneter Sekundärstrahler den Metallen

mit hohem Atomgewicht den Vorzug zu geben. Doch darf die Auswahl nur unter Berücksichtigung der Qualität der Primärstrahlung erfolgen, und es ist hierbei zu fordern, daß das Maximum des Primärstrahlenspektrums jedenfalls Wellenlängen angehört, die kürzer sind als die Erregerstrahlen.

3. Die sekundäre Elektronenstrahlung.

Für die Wirkungssteigerung durch die aus einem metallischen Sekundärstrahler austretende Elektronenstrahlung sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen: Ihre Größe hängt ab von dem Absoprtionsvermögen des Sekundärstrahlers für die Primärstrahlung und von der Absorption der durchgehenden Elektronenstrahlung im Sekundärstrahler. Holthusen machte darauf aufmerksam, daß die aus Metallen austretende Elektronenstrahlung deswegen mit der Ordnungszahl stark ansteigen müßte, weil die Massenabsorption der Röntgenstrahlen mit der Stellenzahl stark wächst, während die Absorption der Elektronenstrahlen nach Lenard annähernd massenproportional ist. Eine starke Zunahme der sekundären Elektronenemission mit dem Atomgewicht war auch experimentell schon lange bekannt. Theoretisch wäre zu fordern, daß die Intensitäten der Wandstrahlung dem Massenabsorptionskoeffizienten proportional ansteigen. Ebenso ist aus vielen experimentellen Untersuchungen bekannt, daß die Elektronenemission aus der Oberfläche eines Sekundärstrahlers mit der Härte der Primärstrahlung stark zunimmt (Innes und C. A. Sadler). Es liegt dies daran, daß die Wirkungsweiten der ausgelösten Kathodenstrahlen mit abnehmender Wellenlänge der Primärstrahlen immer größer werden, und daher immer größere Schichten des Sekundärstrahlers sich an der Sekundärstrahlenemission beteiligen.

Über die Gesamtzahl der aus einem Sekundärstrahler, an die Oberfläche dringenden Primärelektronen haben Berg und Ellinger unter der Annahme, daß die Schwächung der Röntgenstrahlenintensität in der für die Elektronenemission in Betracht kommenden Wandschicht vernachlässigt werden kann, also unter alleiniger Berücksichtigung der Absorption der Primärelektronen im Sekundärstrahler eine einfache Integrationsrechnung aufgestellt, die ihnen für die Gesamtzahl der an die Oberfläche gelangenden Primärelektronen den Ausdruck:

$$N = \frac{n \cdot z}{4\,\mu} \tag{13}$$

ergab. In diesem Ausdruck ist n die pro Atom emittierte Zahl von Elektronen, z die Zahl der Atome pro Volumeinheit, μ der Absorptionskoeffizient der Elektronen. Bezeichnet man mit d die Dichte, mit A das Atomgewicht der Substanz, mit $L = 6{,}7 \times 10^{23}$ die Avogadrosche Zahl, so ist $z = L \cdot d/A$. Nach dem Lenardschen Massenproportionalitätsgesetz kann mit Annäherung $\mu = \alpha \cdot d$ gesetzt werden, wenn α die nur von der Geschwindigkeit abhängige Absorptionskonstante ist. Die Gleichung (13) geht dann über in:

$$N = \frac{n \cdot L}{4\alpha \cdot A} \tag{13a}$$

Die Gleichung ermöglicht, aus ihr einige allgemeine Gesetzmäßigkeiten abzuleiten. Sie könnte, wie Berg und Ellinger ausführen, dazu dienen, aus der Zahl N der austretenden Elektronen die Zahl n der vom einzelnen Atom entsandten Elektronen zu berechnen, und umgekehrt, wenn man imstande wäre, die Zahl N oder n für jede einzelne Elektronengeschwindigkeit anzugeben, da α von dieser Geschwindigkeit abhängt. Doch reichen auch die von Berg und Ellinger ausgeführten Messungen, auf die wir noch zurückkommen werden, dazu nicht aus.

Sehen wir, wie groß nach Gleichung (13a) die Wirkung der Sekundärelektronen auf ein Volumelement des Gewebes an der Oberfläche des Sekundärstrahlers ausfällt, wenn in diesem N Quanten der Primärstrahlung absorbiert werden.. Der Ausdruck $\frac{n \cdot L}{A}$ bezeichnet offenbar die Zahl der pro Volumeinheit emittierten Elektronen. Werden in einem Volumelement des Gewebes N Quanten der Primärstrahlung absorbiert, so gelangen in einem Volumelement des Sekundärstrahlers $N \alpha_p / \beta_p$ Quanten zur Absorption, wobei, wie früher α_p den Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Sekundärstrahler, β_p den Absorptionskoeffizient der Primärstrahlung im Gewebe bedeutet. α hatten wir definiert als die Absorptionskonstante der ausgelösten Primärelektronen. Sie entspricht dem Massenabsorptionskoeffizienten bei Röntgenstrahlen. Nennen wir wie früher α_s den Absorptionskoeffizienten der ausgelösten Kathodenstrahlen im Sekundärstrahler, so ist $\rho \alpha = \alpha_s$. Es wird also jedes Oberflächenelement des Gewebes getroffen von $\frac{\alpha_p}{\beta_p} \cdot N \frac{\rho}{4 \alpha_s}$ Primärelektronen, und wenn wir annehmen, daß der Absorptionskoeffizient der Elektronenstrahlen des Sekundärstrahlers und des Gewebes im Gewebe der gleiche ist, werden $\beta_p \cdot \frac{\alpha_p}{\beta_p} \cdot N \cdot \frac{\rho}{4 \alpha_s}$ Primärelektronen in der Volumeinheit des Gewebes absorbiert. Nach der Quantentheorie entsteht aus jedem absorbierten Strahlenquant ein Primärelektron, dessen Energie $= h \cdot \nu_p - A$ ist. Das Verhältnis der Elektronenenergie von N im Sekundärstrahler absorbierten Quanten zu der Gesamtenergie von N im Gewebe absorbierten Quanten ist also $\frac{h \cdot \nu_p - A}{h \cdot \nu_p}$. Bezeichnen wir wieder wie früher mit D_{s_0} den von der Sekundärstrahlung herrührenden Wirkungsbeitrag und mit D_{p_0} den Wirkungsbeitrag durch Primärstrahlung, so ist:

$$\frac{D_{s_0}}{D_{p_0}} = \alpha_p \cdot \frac{\rho}{4 \alpha_s} \cdot \frac{h \cdot \nu_p - A}{h \cdot \nu_p} \tag{14}$$

Aus dieser Gleichung leiten wir folgende Sätze ab:

1. Die sekundäre Elektronenstrahlung ist bei einer bestimmten Wellenlänge der Erregerstrahlung im Gebiete der medizinisch verwendeten Röntgenstrahlen allein von dem Absorptionskoeffizienten des Sekundärstrahlers für dieselbe und der Abtrennungsarbeit seiner Elektronen des K-Ringes abhängig. Der Absorptionskoeffizient der ausgelösten Primärelektronen α_s / ρ, die „Absorptionskonstante", ist unabhängig von der Substanz des Strahlers.

2. Da α_p mit dem Atomgewicht rasch ansteigt, so wächst dementsprechend die Sekundärstrahlenemission innerhalb ein und desselben Absorptionsgebietes mit dem Absorptionskoeffizienten.

3. Die Proportionalität der Elektronenemission mit α_p gilt jedoch nur, solange die Abtrennungsarbeit klein gegenüber der Größe des Energiequantes der Erregerstrahlung ist. Gehen wir bei einer bestimmten Erregerstrahlung die Elementenreihe durch, so wächst mit steigender Ordnungszahl A rasch an. In dem Gebiete der Elemente, die merklich zur Sekundärstrahlung erregt werden, nimmt die Elektronenemission wesentlich langsamer zu als proportional α_p. D_{s_0}/D_{p_0} strebt also einem Maximum zu, das dann überschritten wird, wenn $\frac{h \cdot \nu_p - A}{h \cdot \nu_p}$ schneller abzunehmen beginnt, als α_p anwächst.

4. Ein Minimum der Elektronenemission findet sich bei den Elementen, deren K-Strahlung durch die Erregerstrahlung gerade nicht mehr erregt wird.

5. Mit weiter ansteigender Stellenzahl im periodischen System nimmt die Elektronenemission wieder zu, nach dem Absorptionsgesetz für die L-Absorption (vgl. S. 403).

Die unter 2—5 gegebenen Ausführungen zu der Formel (14) finden ihre Illustration in der Abb. 4, die den Verlauf der Elektronenemission unter der Annahme einer homogenen Primärstrahlung von λ 0,15 A.E. graphisch darstellt. Der Berechnung von α_p ist die Absorptionsformel von Allen zugrunde gelegt. Die Abtrennungsarbeiten sind aus den Wellenlängenzahlen der K-Absorptionsgrenze nach Siegbahn berechnet.

6. Bei einer inhomogenen Strahlung überlagert sich der Absorptionsverlauf mehrerer Strahlungen, von denen jede für sich den Typus der Abb. 4 hat. Die Ausprägung des Maximums und Minimums der Elektronenemission kann dabei weitgehend ausgeglichen werden.

7. Die sekundäre Elektronenstrahlung ist um so stärker, je kurzwelliger die Primärstrahlung ist. Denn mit abnehmender Wellenlänge wächst die Geschwindigkeit der ausgelösten Primärelektronen und ihre Absorptionskonstante α_s/ρ wird kleiner. Die Wirkungssteigerung mit abnehmender Impulsbreite geht umgekehrt proportional α_s/ρ.

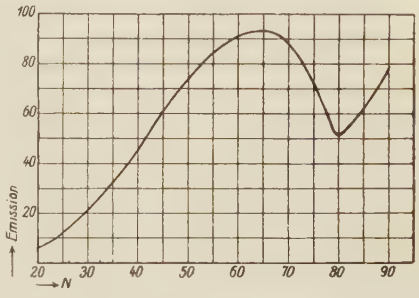


Abb. 4. Verlauf der Elektronenemission in der Elementenreihe, berechnet für eine homogene Erregerstrahlung von $\lambda = 0.15$ Å.E. nach Gleichung (14).

8. Eine plötzliche Steigerung erfährt die Elektronenemission an der Erregungskante der K-Strahlung (bzw. der anderen charakteristischen Strahlungen) wegen des plötzlichen Heraufschnellens des Absorptionskoeffizienten. Die Mehrausbeute an Elektronen ist allerdings zunächst gering wegen des hohen Wertes der Abtrennungsarbeit A.

9. Entfernt sich die Erregerstrahlung von der Erregungsgrenze einer Fluoreszenzwellenstrahlung nach der kurzwelligen Seite, so steigt die Ausbeute an Elektronenstrahlen, bezogen auf die absorbierte Energiemenge, in dem Maße, wie der Ausdruck $\frac{h \cdot \nu_p - A}{h \cdot \nu}$ sich dem Werte 1 nähert.

Vergleichen wir die Gleichung (14) mit der Gleichung (12), so sehen wir den durchaus analogen Bau. Der nach der Quantentheorie zu erwartende Unterschied in der Energieausbeute bei der Sekundärstrahlung ist in Gleichung (12), wo es sich um eine Wellenstrahlung handelt, ausgedrückt durch das Verhältnis λ_p/λ_s. Ihm entspricht in Gleichung (14) der Ausdruck: $\frac{h \cdot \nu_p - A}{h \cdot \nu_p}$, F (u) ist im Falle der Erregung von Elektronenstrahlen nur eine Funktion von deren Wirkungsweite oder dem ihm reziproken Werte des Absorptionskoeffizienten α_s.

B. Diffuse Verteilung des Sekundärstrahlers im Gewebe.

Betrachten wir endlich den Fall, daß sich der Sekundärstrahler in Form fein verteilter Massen im Gewebe befindet, so sind darüber noch weniger theoretische Unterlagen vorhanden als über die bisher behandelten Fälle. Großmann hat zwar den Zuwachs an Strahlung berechnet, den die Umgebung von einem einzelnen Sekundärstrahlerteilchen erfährt und das durchaus verständliche Resultat erhalten, daß dieser

in gewissen Grenzen von der Größe der Massenteilchen abhängig ist und mit seiner Größe zunimmt. Bei der Betrachtung eines ganzen Systems von suspendierten Sekundärstrahlerteilchen im Gewebe addieren sich aber die Sekundärstrahlen, die von den einzelnen Teilchen ausgehen und der gesamte Zuwachs an Strahlung ist von der durchschnittlichen Dichte der Sekundärstrahlenmenge im Gewebe abhängig. Die Auswirkung der Sekundärstrahlung ist offenbar um so ausgiebiger, je kleiner bei gleicher Gesamtkonzentration des Sekundärstrahlers im Gewebe die Teilchengröße ist, worauf schon 1910 von Barkla hingewiesen wurde. Vielleicht läßt sich über die hier herrschenden Gesetze am leichtesten eine Vorstellung gewinnen, wenn wir ein beliebiges Volumelement in einem Körper, in dem sich fein verteilte Sekundärstrahler befinden, so betrachten, als wenn es zwischen zwei plattenförmigen Sekundärstrahlern gelegen wäre, von denen der obere seine Emergenzstrahlung und der untere seine Inzidenzstrahlung auf das Gewebselement du wirken läßt. Die Wirkung auf du ist dann einfach die Summe der Emergenz- und Inzidenzstrahlung nach dem früher besprochenen, für plattenförmige Sekundärstrahler gültigen Gesetzen. Ebenso muß aber auch die Schwächung durch die über dem betrachteten Gewebselement liegende Sekundärstrahlerschicht in Betracht gezogen werden. Allerdings erfährt die Sekundarstrahlung ihrerseits dadurch eine Abschwächung, daß es sich gleichsam um im höchsten Grade poröse Sekundärstrahler handelt, um so poröser, je geringer die Konzentration des Sekundärstrahlenspenders im Gewebe ist. Gehen wir von der Oberfläche in die Tiefe, so nimmt die Sekundärstrahlung zunächst zu, und zwar solange, bis die Sekundärstrahlenemission der Emergenzseite ihr Maximum erreicht hat. Das wird, wenn wir die sekundäre Wellenstrahlung betrachten, in um so größerer Tiefe der Fall sein, je geringer die Absorption der Sekundärstrahlung in dem betrachteten Sekundärstrahler- — Gewebssystem ist; sicherlich in einer Tiefe von wenigen H.W.S. der Sekundärstrahlung. Sehen wir die sekundäre Elektronenstrahlung als maßgebend an, so ist das Maximum der Wirkung bereits in Bruchteilen eines Millimeters, von der Oberfläche an gerechnet, erreicht. Die Intensität der Strahlung nimmt praktisch von der Oberfläche her ab, und zwar rascher als ohne Sekundärstrahler, da dieser eine vermehrte Absorption bedingt. Es hängt von der Wirkungssteigerung durch die Sekundärstrahlung und von der Größe der Absorption in dem sekundärstrahlerhaltigen Gewebe ab, von welcher Tiefe an auf alle Fälle eine Wirkungsverminderung infolge der verstärkten Absorption im Vergleich zur Intensität der Strahlenwirkung ohne Anwesenheit des Sekundärstrahlers stattfindet.

V. Experimentelle Untersuchungen zur Sekundärstrahlentherapie.

Nachdem wir im voraufgehenden die physikalischen Gesetze besprochen haben, von denen die Entstehung und Wirkung der Sekundärstrahlen abhängt, gehen wir nunmehr dazu über, die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen über Steigerung der biologischen Strahlenwirkungen durch Erzeugung von Sekundärstrahlen zu besprechen. Wir stellen dabei an den Anfang eine Reihe physikalischer Untersuchungen, bei denen die experimentelle Anordnung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten therapeutischer Verwirklichung getroffen wurde oder wenigstens sich mit ihnen vergleichen läßt und bringen sodann die Resultate der biologischen und tierexperimentellen Untersuchungen. Erst daran soll sich die kritische Würdigung der klinischen Erfahrungen und Aussichten der Sekundärstrahlentherapie anschließen.

A. Physikalische Untersuchungen.

Wir betrachten gesondert die Experimente, die dem Nachweis einer sekundären Wellenstrahlung dienen, und die, welche Vorhandensein und Umfang der sekundären Elektronenstrahlung (Primärelektronen) zum Gegenstande haben.

1. Sekundäre Wellenstrahlung.

Zum Nachweis der von Metallen, und zwar sowohl von Metallflächen als auch von fein verteilten Metallpartikeln im Gewebe, bzw. dem Wasserphantom, ausgehenden sekundären Wellenstrahlen ist sowohl die Ionisationsmethode als auch — noch häufiger — die photographische Methode herangezogen worden. Die Versuche von Bragg und Porter und von Sadler, welche die von blanken Metallen ausgehenden Sekundärstrahlen mit der Ionisationsmethode maßen, wenn sie von den homogenen Eigenstrahlen höheratomiger Metalle erregt wurden, fanden schon Erwähnung. Sie dienten vor allem dazu, um aus ihnen die prozentische Sekundärstrahlenemission zu berechnen, wie sie den Zahlen der Tabelle 3 zugrunde liegen. In den Versuchen von Bragg und Porter fielen die homogenen Sekundärstrahlen einer Zinkplatte auf eine Ionisationskammer, deren Vorder- und Hinterwand ein Fenster hatte, das abwechselnd mit einer Papierfolie oder mit Metallfolien verschiedener Zusammensetzung verschlossen wurde. Bei dieser Versuchsanordnung wurde nicht nur die sekundäre Wellenstrahlung, sondern auch die sekundäre Elektronenstrahlung gemessen. Um erstere für sich zu berechnen, mußte eine entsprechende Korrektur angebracht werden. Schon aus den Zahlen von Bragg und Porter geht hervor, daß die Wirkung der Primärelektronen wesentlich größer war als der Mehreffekt an Ionisation, der durch die sekundäre Wellenstrahlung hervorgerufen wurde. Um die Wirkung der Primärelektronen auszuschalten, wurde die metallische Oberfläche mit einem Blatt Papier bedeckt. So stellten diese Autoren z. B. fest, daß die Ionisation in der Kammer von 136 auf 177 stieg, wenn die homogenen Fluoreszenzstrahlen des Zinks auf die Kammer auftrafen und deren Rückseite statt durch Papier von einem mit Papier bedeckten Nickelblech gebildet wurde, und berechneten daraus, daß in diesem Falle die Wirkung der sekundären Wellenstrahlen 30 % der Primärstrahlung betrug. Von verschiedenen Autoren, zuerst 1911 von Hernaman-Johnson, später von Salzmann, Dessauer und Cermak, wurde die Wirkungssteigerung durch rückwärtige Sekundärstrahlung auf photographischem Wege gezeigt. Von diesen Autoren wurde im Gegensatz zu Sadler und Bragg und Porter die inhomogene Strahlung harter Therapieröntgenröhren verwendet, die allenfalls nach der in der Therapie üblichen Weise gefiltert war. In der Anordnung von Hernaman-Johnson fielen die Röntgenstrahlen von unten zunächst — um die Verhältnisse der Filterung im Gewebe nachzuahmen — durch einen Behälter mit einer mehrere Zentimeter dicken Wasserschicht und dann durch die in schwarzes Papier lichtdicht eingewickelte Platte, gegenüber deren von der Strahlenquelle abgewendeten Schichtseite, und zwar außerhalb des Papierumschlages, sich entweder eine Silberfolie oder Silber und andere Metalle und Metallsalze in Pulverform befanden. Es zeigte sich, daß auch durch das Papier hindurch eine deutliche Schwärzung an den Stellen eintrat, an denen die Silberfolie oder das Silberpulver der Schicht der Platte gegenübergelegen hatte. Im Gegensatz dazu übte Wismutsubnitrat, wie es für Kontrastmahlzeiten benutzt wurde, keinerlei Wirkung aus. Indem gleichzeitig eine Schwärzungsskala mit verschiedenen Intensitäten auf eine solche Platte mitphotographiert wurde, konnte festgestellt werden, daß die Wirkungssteigerung durch die rückwärtige Fluoreszenzstrahlung des Silbers etwa 30 %

betrug. Der Umstand, daß das Wismutpulver keinerlei Sekundärstrahleneffekt zeigte, bestätigt nur die Tatsache, daß von den von Hernaman-Johnson benutzten mittelharten Röhren die K-Strahlung des Wismut noch nicht erregt wird. Die zweifellos erregte L-Strahlung war zu schwach, um eine meßbare Schwärzung hervorzurufen. Salzmann fand in seinen Versuchen mit einer Röhre von 10 Wehnelt Härte und 6 mm Aluminiumfilter auf einer in 50 cm Abstand angebrachten Platte, hinter welcher der Schichtseite gegenüber die Metallbleche, „um einen direkten chemischen Einfluß der Metalle auf die Platte auszuschalten", mit einer Lage dünnen Papiers bedeckt waren, die in der Schwärzung der Schichtseite zum Ausdruck kommende Strahlenwirkung bei den Elementen vom Atomgewicht zwischen 107 und 120 (Ag 47 - Sb 51) am wirksamsten. Unbewußt hat damit der Verf. den Einfluß der leicht absorbierbaren Elektronenstrahlung ausgeschaltet und die alleinige Wirkung der charakteristischen Eigenstrahlung auf die photographische Platte gemessen. Die Unterschiede in der Sekundärstrahlenwirkung verschiedener Metallfolien ergaben sich auch aus einer Röntgenaufnahme, die in ganz ähnlicher Anordnung Dessauer und Cermak anfertigten. Die Strahlen durchdrangen zunächst das Plattenglas, darauf die photographische Schicht, dann eine 0,01 mm dicke Aluminiumfolie zur Absorption der Elektronenstrahlen und schließlich eine Reihe von nebeneinanderliegenden Metallblechen, nämlich Aluminium, Eisen, Kupfer, Zink, Zinn, Kadmium, Silber, Platin und Blei. Die Resultate Salzmanns, die allerdings nicht erwähnt werden, wurden dabei bestätigt. Aluminium bildete sich überhaupt nicht ab. Die Stellen, an denen Eisen, Kupfer und Zink gelegen hatten, waren durch eine schwache Schwärzung eben erkennbar, Silber, Kadmium und Zinn zeigten die kräftigste Silberreduktion, und Platin und Blei bildeten sich wieder schwächer ab. Wurde die Strahlenrichtung umgedreht, d. h. durchdrangen die Röntgenstrahlen zuerst die Metallfolien, die mit Ausnahme von Platin und Blei möglichst genau gleich 0,1 mm gewählt wurden, so war in allen Fällen die Absorptionswirkung wesentlich stärker als eine etwaige Sekundärstrahlenwirkung. Leider finden sich keine Angaben über die Qualität der benutzten Primärstrahlen. Eine Versuchsreihe, in der die relative Sekundärstrahlenemission verschiedener Metalle in Abhängigkeit von der Strahlung untersucht wurde, stellte Verf. zusammen mit Sielmann an (noch nicht veröffentlichte Versuche). Es waren Eisen, Zink, Silber, Zinn, Wolfram, Gold, Blei in Form von quadratischen Metallblechen ausgewählt, um die Sekundärstrahlen in einem möglichst großen Umfange des periodischen Systems zu überblicken. Die Strahlenqualität war in verschiedener Weise abgestuft. Die härteste benutzte Strahlung wurde von einem Neosymmetrieapparat nach Filterung durch 1,0 mm Kupfer gewonnen. Die Strahlungen mittlerer und niederer Härte wurden von einem Radiosilexapparat geliefert, bei 20 und 10 Kilovolt wurden Lindemannröhren verwendet. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in Tabelle 7 wiedergegeben. Die Versuchsanordnung schloß sich an Hernaman-Johnson an. Zwischen Metalloberfläche und Schichtseite der Films war zur Absorption der Primärelektronen ein dünner Karton dazwischengelegt. Um die Wirkung der Sekundärstrahlen auszuschalten, befand sich die ganze Anordnung in einem Bleikasten, von dem während der Dauer der Exposition der Deckel heruntergezogen wurde. Der Umstand, daß auf diese Weise auch außerhalb der Metallbleche die Bleistrahlung, wenigstens bei starken Primärstrahlen, sich an der Schwärzung der Filme zwischen den Metallblechen beteiligen konnte, macht eine quatitative Auswertung der Schwärzungsintensitäten unmöglich. Dagegen kommt in der Änderung der relativen Beteiligung der verschiedenen Metalle an der Sekundärstrahlenwirkung die Abhängigkeit der Sekundärstrahlenemission von der Qualität der Primärstrahlung gut zum Ausdruck. Bei den härtesten verwendeten Primärstrahlen des Neosymmetrieapparates werden die Wolframstrahlen wenigstens ebenso stark erregt

Tabelle 7. Die Wirkung der charakteristischen sekundären Wellenstrahlung verschiedener Metalle auf Röntgenfilms.

Strahlung	Fe	Zn	Ag	Sn	W	Au	Pb
Symmetrie; Spannungshärtemesser: 125; 1,0 mm Cu + 0,1 mm Al.-Filter Radiosilex 100 kV. eff.	⊙	Spur?	+	+ +	+ +	+	+
1,0 mm Cu + 0,1 mm Al.-Filter Radiosilex 80 kV. eff.	○	○	+	+ +	+ +	+	○
0,5 mm Cu + 0,1 mm Al.-Filter Radiosilex 60 kV. eff.	○	Spur	+	+ +	schw. +	Spur	○
3 mm Al.-Filter Radiosilex 40 kV. eff.	○	schw. +	+	+	Spur	⊙	○
2 mm Al.-Filter Radiosilex 20 kV. eff.	○	+	+!	+	○	○	○
1 mm Al.-Filter Radiosilex 10 kV. eff.	schw. +	+!	+	Spur	○	○	Spur
Lindemannröhre, Papierfilter	+	+	Spur	○	Spur	Spur	Spur

wie die Zinnstrahlen, bei sehr weichen Primärstrahlen, 10 und 20 Kilovolt und Lindemannröhren wird nur die K-Strahlung von Eisen und Zink deutlich erregt und allenfalls macht sich die L-Strahlung des Bleis etwas geltend.

Von besonderem Interesse sind die Versuche von Friedrich und Bender, und zwar deswegen, weil sie die Einwirkung der sekundären Wellenstrahlen verschiedener Substanzen nicht nur in fester Form, sondern auch in Lösungen zeigen. Die Verf. benutzten eine Versuchsanordnung, die den Verhältnissen, wie sie bei der Anwendung fester, kompakter und fein verteilter Sekundärstrahler im Körper verwirklicht ist, wesentlich näher kommt als die bisher beschriebenen Versuche, indem sie die Sekundärstrahler im Wasserphantom untersuchten. Bei dieser Versuchsanordnung ging der Ausfall an Streustrahlung aus dem Wasser, der durch das Einbringen des Sekundärstrahlers verursacht wurde, mit in die Messung ein (vgl. S. 414). Die Messung geschah mit einer Ionisationskammer von 1 ccm Inhalt, die in dem Wasserphantom in beliebige Lagen gebracht werden konnte. Da in der Wand der Ionisationskammer, die aus 0,01 mm dickem Aluminium bestand, mit Sicherheit alle Primärelektronen festgehalten wurden, so kam nur die primäre und sekundäre Wellenstrahlung und Streustrahlung zur Messung. Es wurden Sekundärstrahler in fester Form (Silber, Wolfram, Blei) und fein verteilt (Lösungen von Jodkali, Chlorbarium, Natriumwolframat, Kollargol) untersucht, wenn die Strahlung einer Glühkathodenröhre am Induktor, gefiltert durch 3 bzw. 10 mm Aluminium oder 1 mm Kupfer, auf sie wirkte. Bei Anbringung der Sekundärstrahler in Luft, dicht hinter der Ionisationskammer (die Lösungen in einem Zelluloidkästchen von $10 \times 10 \times 3$ cm), wurde der Effekt in einem Maße verstärkt, daß er zwischen 0,9 % (bei Aluminium) und 17,5 % (bei Silber) der Dosis ohne Sekundärstrahler schwankte. Bei einer die Wirkung der Sekundärstrahler im menschlichen Körper nachahmenden Anordnung im Wasserphantom trat, wenn sich die Ionisationskammer an der Oberfläche einer 20 cm hohen Wasserschicht befand, in der Regel eine Abschwächung der Wirkung durch unter die Kammer gelegte Metalle oder durch in Wasser zur Auflösung gelangte Metallsalze ein, nur bei 7 %igen Lösungen von $NaWO_4$ zeigte sich eine geringe Intensi-

tätszunahme. Daß hierbei die Abschirmung der rückwärtigen Streustrahlung durch die zwischengeschalteten absorbierenden Medien eine Rolle spielt, wurde auch dadurch gezeigt, daß bei Verringerung der Feldgröße von 15 × 15 bis auf 2 × 2 cm der Einfluß der Sekundärstrahler in den meisten Fällen wieder wirkungsverstärkend wurde. Umgibt man die Meßkammer mit einer die Lösungen der Sekundärstrahler enthaltenden dünnwandigen Glaskugel von 6 cm Durchmesser und mißt im Wasserphantom, so zeigt sich, mit Ausnahme von Wolframsalzen und Kollargol in 5%iger Lösung, stets eine abschwächende Wirkung. Die Absorption überkompensiert also den Sekundärstrahleneffekt, mit Ausnahme von Wolfram, welches für seine eigene, in der Primärstrahlung vorwiegend vorhandene K-Strahlung ein besonders geringes Absorptionsvermögen besitzt. Mit Recht entnehmen die Verf. aus ihren Versuchen, daß auch in der Sekundärstrahlentherapie die Streustrahlung eine wichtige Rolle spielt, allerdings nicht als wirkungssteigernder Faktor, sondern als negatives Moment, indem die teilweise Ausschaltung ihres bei Tiefentherapiestrahlungen wesentlichen Einflusses den Vorteil, der durch die Bildung von sekundären Wellenstrahlen evtl. erzielt werden kann, wieder aufwiegt. Bemerkenswert ist die Wirkungssteigerung beim Wolfram.

Der von den Autoren aus ihren Zahlen gezogene Schluß, daß die Sekundärstrahlentherapie bei den üblichen Härtegraden nur eine verschwindende Bedeutung hat, ist gleichwohl nicht berechtigt, weil in den beschriebenen Versuchen, wie die Verf. übrigens selber betonen, die Primärelektronen nicht mitgemessen wurden. Nach allem, was wir wissen, kommt ihnen eine besondere Bedeutung auch bei der Sekundärstrahlensensibilität zu.

2. Die sekundäre Elektronenstrahlung.

Der Einfluß der von stark absorbierenden Körpern ausgehenden Elektronenstrahlung wurde auf verschiedenen Wegen nachzuweisen versucht. Mit der ionometrischen Methode kann man die Elektronenemission aus Metallwänden in der Weise untersuchen, daß man die Wand der Ionisationskammer selber aus verschiedenen Metallen herstellt oder innerhalb der Ionisationskammer strahlende Flächen aus verschiedenen Metallen in den Weg des Röntgenstrahlenbündels bringt. Auf diesem Wege hat zuerst Innes nachgewiesen, daß die durch Röntgenstrahlen ausgelöste sekundäre Kathodenstrahlung mit dem Atomgewicht des Strahlers ansteigt. Die relativen Intensitäten der Ionisation, welche die aus Metallen austretenden Primärelektronen in der Luft einer Ionisationskammer erzeugen, wenn sie von den homogenen Eigenstrahlen verschiedener Metalle erregt wurde, hat Sadler für eine Reihe von Metallen untersucht. Die Zahlen Sadlers zeigen deutlich, daß die Elektronenemission ein Minimum hat. Allerdings tritt nur beim Kupfer und Zink als emittierenden Metallen das Minimum gerade dann auf, wenn die Wellenlänge der Erregerstrahlung mit der charakteristischen Strahlung des emittierenden Metalles übereinstimmt. Doch genügen die vier gewählten Sekundärstrahler (Aluminium, Eisen, Kupfer, Silber) nicht, um bei den übrigen emittierenden Metallen Näheres über den Gang der Elektronenemission mit der Ordnungszahl auszusagen. Moore verglich den von verschiedenen Gasen hervorgerufenen Ionisationseffekt und fand, daß die von der homogenen Kupferstrahlung erregte Atomionisation für Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Chlor innerhalb der Versuchsfehlergrenzen mit der vierten Potenz des Atomgewichtes proportional ansteigt. In den Messungen Holthusens, in denen in einer Ionisationskammer die Wandstrahlung von Papier, Paraffin, Aluminium und Kupfer bei mittleren Härtegraden miteinander verglichen wurde, stimmten die Messungen gut miteinander überein unter der Annahme, daß die reine, aus der Wand austretende Elektronenstrahlung mit dem Absorptionskoeffizienten parallel ginge. In sehr eingehen-

den Untersuchungen von Berg und Ellinger mit Metallblechen und Gußstücken ergab sich, daß die Elektronenemission der Inzidenzseite (vgl. S. 419) von Aluminium bis Thorium mit der Ordnungszahl erheblich anstieg. Der Verlauf der Elektronenemission in Abhängigkeit von der Stellenzahl des Sekundärstrahlers bei den drei verschiedenen untersuchten Spannungen ist in Abb. 5 wiedergegeben. Als Abszissen sind die Ordnungszahlen der untersuchten Elemente, als Ordinaten die Elektronenemission angegeben. Die punktierten Linien geben die Lage der Edelgase und damit den Beginn je einer neuen Reihe des periodischen Systems zu erkennen. Die drei übereinanderliegenden Kurven verbinden die Meßresultate bei den drei verschiedenen Spannungen. Die Zunahme der Wandemission erfolgte um so rascher in der Elementenreihe, je niedriger die Spannung der Primärstrahlung gewählt war. Das Verhältnis der Elektronenemission von Aluminium und Thorium betrug für eine Primärstrahlung von 84 kV. 1:70,5, für 120 kV. 1:67 und für 148 kV. 1:36. Es liegt nahe, für dieses auffällige Verhalten die Rückstoßelektronen in Anspruch zu nehmen. Die von diesen ausgehende Ionisationswirkung steigt nur wenig mit der Ordnungszahl an und überlagert sich der Ionisationswirkung der eigentlichen Absorptionselektronen. Ihr Einfluß müßte sich gerade in der gefundenen Richtung geltend machen, indem durch sie die Unterschiede in der Elektronenemission zwischen den einzelnen Metallen ausgeglichen würden, und zwar in steigendem Maße mit anwachsender Härte der Erregerstrahlung. Den wellenförmigen Verlauf der Kurven möchten die Verf. mit den Perioden des natürlichen Systems in Zusammenhang bringen und dahin interpretieren, daß immer im Anfang der Perioden der Anstieg langsam erfolgt. Wahrscheinlicher ist, daß hier der Einfluß der K-Emission zum Ausdruck kommt. Mit Wahrscheinlichkeit ist sogar zwischen den Elementen 53 (Jod) und 74 (Wolfram) ein Emissionsminimum zu vermuten, das nur deswegen sich dem Nachweis entzogen hat, weil aus dem Gebiete der seltenen Erden keine Elemente untersucht wurden. Die zweite Kurveneinbuchtung beruht allein auf der Messung der Emission des Molybdans und dürfte nicht genügen, um daraus ein grundsätzliches Verhalten der Emissionskurve abzuleiten. Das Auftreten eines Minimums der Elektronenemission auch bei komplexer Erregerstrahlung zwischen Jod und Wolfram wurde übrigens von Liechti im biologischen Versuche direkt nachgewiesen (vgl. S. 432).

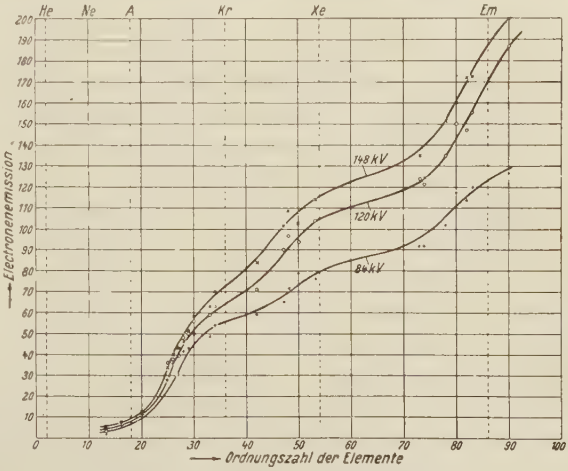


Abb. 5. Die Elektronenemission in Abhängigkeit von der Stellenzahl in der Elementarreihe (nach Berg und Ellinger).

Auf photographischem Wege zeigte zuerst Hernaman-Johnson nach derselben Methode, wie sie oben beschrieben wurde, mit dem einzigen Unterschiede, daß die Metalle bzw. Metallsalze nicht außen auf das Entwicklungspapier der Platte, sondern unmittelbar auf die Schicht gelegt wurden, daß der Effekt der Schwärzung bei dieser Anordnung wesentlich stärker ausfällt. Die Berechtigung seiner Deutung, daß es sich dabei um die Wirkung der Elektronenstrahlen handelt, geht auch daraus hervor, daß die Intensität der Schwärzung, welche die verschiedenen Metalle bei dieser Versuchsanordnung

auf die photographische Platte ausübten, mit steigendem Atomgewicht kontinuierlich größer wurden. Mit Metallen von einem Atomgewicht von über 126 konnte Hernaman-Johnson, wenn eine Papierlage zwischen der Plattenoberfläche und der Sekundärstrahleroberfläche lag, wie wir schon berichteten, keine Schwärzung mehr nachweisen. Lag jedoch die Sekundärstrahleroberfläche der photographischen Schicht unmittelbar auf, so gaben Wismut und Blei eine besonders starke Silberreduktion. Einen ganz ähnlichen Versuch führte Löwenthal 1912 aus. Er brachte Metallbleche oder Pulver von Aluminium, Stahl, Eisen, Kupfer, Zink, Silber, Platin und Blei hinter die Ausschnitte eines Kartons und legte darauf mit der Schichtseite eine photographische Platte. Er benutzte, weil es ihm darum zu tun war, die Wirkung besonders harter, gammastrahlenähnlicher Röntgenstrahlen zu demonstrieren, durch 1 mm Blei gefilterte harte Röntgenstrahlen eines Apexinstrumentariums mit Gundelachröhre. Die Schwärzung beschränkte sich auf die Teile der Metallbleche, die den Kartonausschnitten gegenüberlagen, waren also durch die stark absorbierbare Elektronenstrahlung hervorgerufen, in steigendem Maße mit der Zunahme des Atomgewichtes des Metallstrahlers.

Es liegt nahe, diesen Sekundärstrahleneffekt auf die Röntgenplatte in der Weise auszunutzen, daß man geeignete Sekundärstrahler der Bromsilberemulsion selber zusetzt. Merkwürdigerweise haben derartige Versuche bisher zu praktischen Ergebnissen nicht geführt. Schleußner hat zwar eine ausgezeichnete, für Röntgenstrahlen sensibilisierte Platte, die sog. „Neoplatte", herausgebracht, in welcher eine wirksame Adsorptionsverbindung des Bromsilbers mit einem komplizierten Strontiumsalz eine Wirkungsverstärkung besonders für weiche Strahlen, und zwar nur für die Belichtung durch Röntgenstrahlen, hervorruft. Dennoch läßt es Verf. dahingestellt, ob bei den verhältnismäßig geringen Mengen, in denen sich der Sekundärstrahler zur Anwendung bringen ließ, überhaupt eine Verstärkung durch sekundäre Strahlung — es ist hier natürlich in erster Linie an sekundäre Elektronenstrahlung zu denken — als ursächlich in Betracht kommt.

Einen anderen photochemischen Prozeß als die Bromsilberreduktion durch Röntgenstrahlen versuchte Ziegler mit Sekundärstrahlen zu sensibilisieren, nämlich die Edersche Mischung, deren Beeinflussung durch Röntgenstrahlen bereits seit langer Zeit bekannt ist und sogar Veranlassung gegeben hat, darauf eine dosimetrische Methode aufzubauen (Kalomelandosimeter von Schwarz). Ziegler bestrahlte das Edersche Gemisch, eine wäßrige Lösung von Ammoniumoxalat und Sublimat, in flach gewölbten, allseitig geschlossenen Kuvetten von 40—50 ccm Rauminhalt und untersuchte, ob die Geschwindigkeit der Kalomelausfällung dadurch beeinflußt wird, wenn er Jod als Sekundärstrahler hinzufügte. Da bei der Verwendung von Jod in pulverisierter Form sofort ein unlöslicher Niederschlag von Jodquecksilber entsteht, so benutzte er ein fein pulverisiertes Jodoform, das zu 96,5 % aus Jod besteht. Das Jodoform wurde zwecks feinster Verteilung mittels einer Pulvergebläses der Quecksilbersalzlösung zugefügt und mußte, da es ziemlich rasch zu Boden sinkt, im Anfange des Versuches alle $^1/_4$—$^1/_2$ Minuten kräftig geschüttelt werden. In verschiedenen Versuchen, in denen der Jodgehalt der Mischung bis zu 4 % betrug, war niemals eine Wirkungssteigerung durch den Jodoformzusatz festzustellen. Es scheint, daß die Verhältnisse für die Wirkung der Sekundärstrahlung in dieser Versuchsanordnung aus verschiedenen Gründen ungünstige gewesen sind. Zunächst war das Jodoform eben nicht in molekularer oder kolloidaler Verteilung, sondern in verhältnismäßig grober Suspension vorhanden. Sodann bewirkte die Sedimentierungsgeschwindigkeit, wie der Verf. selbst angibt, eine Verteilung, bei der die oberen Schichten den Sekundärstrahler in verhältnismäßig geringerer Konzentration enthielten als die tieferen Schichten, und schließlich ist anzunehmen, daß die Schichtdicke, über die sich leider keine Angabe findet, bei einer Menge von 40—50 ccm so groß war, daß die Mehrabsorption

die evtl. Sekundärstrahlenwirkung überwog. Denn daß eine Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung durch Hinzufügen von Metallsalzen als Sekundärstrahlenspendern zu einem strahlenempfindlichen System möglich ist, zeigt eine einfache und demonstrable Versuchsanordnung, bei der die Wirkung auf die Röntgenfluoreszenz als Maßstab dient. Bringt man eine 1%ige saure Chininsulfatlösung in eine Metallschale — Glas zu nehmen verbietet sich wegen der dann störenden Röntgenfluoreszenz des Glases — und beobachtet sie im Innern des Radioskops, aus dem alle Glasteile entfernt sein müssen, und bringt zum Schutze der Augen vor die der Beobachtung dienende seitliche Öffnung ein Bleiglas, so sieht man beim Einschalten der Röhre die Chininlösung in blaßgrünlicher Fluoreszenz aufleuchten. Fügt man zu der Chininsulfatlösung eine geringe Menge Zinksulfat, so wird die Fluoreszenz erheblich heller. Der Beweis dafür, daß die Wirkungssteigerung in diesem Falle durch physikalische Sensibilisierung, und zwar durch Vermehrung der Elektronendichte von den Absorptionszentren der Metallatome her hervorgerufen ist, wird dadurch schlüssig, daß die Wirkungssteigerung mit dem Absorptionsvermögen des zugesetzten Metallsalzes anwächst. Beim Hinzufügen äquimolekularer Mengen von Natrium- und Zinksulfat ist die Wirkungssteigerung auf die Chininfluoreszenz beim Zinksulfat wesentlich stärker.

B. Biologische Untersuchungen.

Die geschilderten physikalischen und photochemischen Modellversuche finden ihre Ergänzung in einer Reihe biologischer Experimente, welche die Möglichkeit der Ausnutzung der Sekundärstrahlensensibilisierung auch für klinische Zwecke dartun sollten. Gauß und Lembcke stellten Versuche über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Kaulquappen an, die in Kollargollösungen (1:25—1:400 einer 2%igen Stammlösung) suspendiert waren. Sie verglichen jedoch nur die Wirkung verschieden gefilterter Strahlungen miteinander, nicht den Einfluß der Anwesenheit des Kollargols als solchem. So ist denn jedenfalls auf Grund der im übrigen sehr ausführlich mitgeteilten Protokolle nicht festzustellen, ob der von den Verf. gezogene Schluß, daß es möglich sei, durch Benutzung eines zweckmäßig gewählten Strahlentransformators einen stärkeren Ausschlag im Effekt zu erzwingen, berechtigt ist. Aus dem gleichen Jahre stammen Versuche von Schwarz, der Erbsenkeimlinge gleichzeitig in Wasser und einer Elektrargollösung bestrahlte und bei letzteren stärkere Wachstumshemmungen erzielte. Das gleiche Ergebnis hatte Hernaman-Johnson bei der Bestrahlung von Senf- und Baumwollsamen. Wenn Silberpulver zwischen die Samenkörner gemischt wurde, so war die gleiche Wachstumshemmung mit kleineren Dosen zu erreichen. Petry ging von den Untersuchungen von Tappeiner und Neuberg über die lichtkatalysatorische Wirkung von fluoreszierenden Substanzen und Metallsalzen aus und untersuchte die Wirkung zahlreicher Stoffe auf Amöben, auf Lab- und Pegninlösung. Dabei kamen eine Reihe von Schwermetallsalzen, allerdings in sehr großen Verdünnungen, zur Anwendung. Da, wie der Autor selber feststellte, eine viertägige Kultur von Amöben des Heuinfuses 15 E.D. glatt ertrug, im allgemeinen die mit Katalysatoren versetzten Amöben jedoch nur mit 2—4 E.D. bestrahlt wurden, so hätte es schon einer außerordentlich starken Sensibilisierung bedurft, um überhaupt den Effekt der Schädigung nachweisbar zu machen. Bei den gewählten Verdünnungen, die beim wolframsauren Natrium zwischen 1:200 bis 1:600 schwankten, und beim Urannitrat 1:200000 erreichten, ist das nicht gerade wahrscheinlich. So fielen denn sowohl die Versuche an Amöben wie die mit Labextrakt, mit 4%iger Pegninlösung und schließlich die mit der Hämolyse angestellten kombinierten Röntgenbestrahlungsversuche negativ aus. Zu den gleichen negativen Resultaten kam

von Wassermann, der bei seiner Untersuchung über die Strahlenwirkung auf Mäusekarzinomzellen in der Zuführung von kolloidalen Metallen sowohl in corpore wie in vitro nicht nur keine Wirkungssteigerung sah, sondern bei den vorbehandelten Karzinomen eher eine Verminderung der Strahlenwirkung feststellte. Dagegen kamen Halberstädter und Goldstücker in Versuchen an Trypanosomen in vitro zu dem entgegengesetzten Resultat. Sie hatten gefunden, daß das mäusepathogene Trypanosoma brucei mit 300 X bestrahlt eine deutliche Verzögerung im Angehen der Infektion bei einer Maus verursacht und bei 400 X völlige Abtötung der Trypanosomen erreicht wurde. In den Sensibilisierungsversuchen wurden die Trypanosomen in Lösungen von Elektrokuprol und Elektromartiol, die durch Kochsalz isotonisch gemacht worden waren, mit normalen Kontrollen verglichen und außerdem Versuche mit Kuprase gemacht. Während das ebenfalls auf seinen wirkungssteigernden Effekt untersuchte Enzytol keine Förderung gegenüber Kochsalz erkennen ließ, tötete Elektrokuprol die Trypanosomen in einer Serie, in der sie im Kochsalz durch 400 X noch nicht beeinflußt wurden, schon bei 300 X; Elektromartiol zeigte wenigstens bei 400 X deutliche Verzögerung beim Angehen der Infektion in der Maus. Elektrokupol 1:10 hatte Kochsalz gegenüber keinen Vorteil, ebensowenig Kuprase 1:1000. Elektrokuprol und Elektromartiol verstärken also die Röntgenwirkung bei geeigneter Dosierung. Während die sensibilisierende Wirkung des Enzytol auf eine Summation von chemischer und Strahlenwirkung zurückgeführt werden muß, schließen die Autoren beim Elektromartiol, weil es bei vierstündigem und noch längerem Aufenthalt mit Trypanosomen völlig wirkungslos blieb, Summationswirkung aus und halten Sensibilisierung durch Sekundärstrahlen für wahrscheinlich. Über die Berechtigung dieser Schlußfolgerung vgl. S. 438.

Eingehende biologische Versuche über die Steigerung der Strahlenwirkung durch Sekundärstrahlen liegen von Gudzent vor. Ihm kam es vor allem darauf an, festzustellen, ob die minimalste Menge der sekundärstrahlenspendenden Metalle, die der Körper überhaupt verträgt, noch einen biologischen Effekt hervorbringt und wie groß dieser ist. Er machte bei Mäusen und Kaninchen intramuskuläre bzw. intravenöse Injektionen von Jodkali (bis 1,4 g pro kg), Eisen, Kupfer, Silber, Platin, Wismut, Gold (die Metalle in kolloidaler Lösung) in den für diese Versuchstiere maximal erträglichen Dosen, mit denen die beim Menschen erreichbaren Konzentrationen jedenfalls erheblich überschritten wurden. Ein verwertbarer Unterschied zwischen vorbehandelten und Kontrolltieren zeigte sich nirgends. Die Bestrahlungen wurden mit Gammastrahlen und hartgefilterten Röntgenstrahlen vorgenommen und die Wirkungsstärke aus der Zeit bis zum eintretenden Tode nach der Bestrahlung ersehen. Mit Ausnahme vom Jod rechneten die gegebenen Metallmengen nach Zehnteln bzw. Hundertsteln Gramm pro Kilogramm Körpergewicht. Auch Müller stellte seine Versuche unter dem Gesichtspunkte an, eine Anschauung über den Grad der biologischen Wirkung künstlich im Tierkörper erzeugter Sekundärstrahlung eine Anschauung zu erhalten. Dabei sollten nach Möglichkeit Verhältnisse geschaffen werden, wie sie für die Praxis in Betracht kommen. Als Kriterium für den Grad der Strahlenwirkung zog er die Kurve des sich an die Bestrahlung anschließenden Leukozytenabfalles heran, nachdem er sich in Vorversuchen davon überzeugt hatte, daß Intensität der Strahlenwirkung und Leukozytenverminderung einigermaßen miteinander parallel gingen. Die eigentlichen Versuche wurden an Kaninchen und Meerschweinchen ausgeführt und als Sensibilisator in der Hauptsache kolloidales Eisen, in einem Versuche auch Kollargol angewendet. Das kolloidale Eisen wurde in Mengen von 30 ccm intravenös und von 20—40 ccm intraperitoneal gegeben. In dem Kollargolversuch waren dem Kaninchen an 5 Tagen im ganzen 18 ccm einer 5%igen Kollargollösung intravenös injiziert worden. Der Leukozytenabfall war fast in allen Fällen

(6 Versuche) nach der Sensibilisierung deutlich gesteigert, was von dem Autor als Wirkung der sekundären Betastrahlung gedeutet wird.

Während es sich in den bisher beschriebenen biologischen Versuchen stets um die Frage nach der Wirkung fein verteilter Sekundärstrahlenspender in mehr oder minder großer Verdünnung handelte, verwandten Milani und Donati eine Versuchsanordnung, in welcher die biologische Wirkung der von einem massiven Sekundärstrahler ausgehende Sekundärstrahlung in die Erscheinung trat. Es wurde der Einfluß der von Metallblechen ausgehenden Sekundärstrahlung auf oberflächliche Agarkulturen verschiedener Bakterienarten (prodigiosus und pyocyaneus) untersucht. Dabei durchsetzten die Röntgenstrahlen zunächst den Glasboden der Petrischale, dann den Agar, darauf die Bakterienschicht und fielen schließlich auf die dieser gegenüber in sehr nahem Abstande angebrachten Metallbleche, deren Sekundärstrahlen auf diese Weise ungehindert auf die Kulturoberfläche fallen konnten. Es wurden folgende Metalle benutzt: Aluminium, Eisen, Kupfer, Zink, Silber, Zinn, Platin, Gold, Blei. Die bakterizide Wirkung steigerte sich mit dem Atomgewicht des Metalles. Sie war beim Aluminium äußerst gering und hatte beim Gold ein Maximum. Der Autor, der seine Versuche auf Anregung von Ghilarducci anstellte, führt die Wirkung auf die in den Metallen entstehende weiche Fluoreszenzstrahlung zurück. Halberstädter und Meyer griffen diese Versuche auf und bestätigten sie in vollem Umfange. Sie untersuchten fast die gleichen Metalle wie die zuletzt genannten Autoren, außerdem Wolfram und Quecksilber. Auch bei ihnen zeigte Aluminium keine Wirkung. Dann nahm mit steigendem Atomgewicht des Metallstrahlers die wachstumshemmende Wirkung bis zu einem Maximum beim Gold zu und hielt sich bei den Metallen mit noch höherem Atomgewicht auf der gleichen Stärke. Eine oligodynamische Wirkung wurde in der Weise ausgeschaltet, daß eine Goldplatte für 8 Stunden unter denselben Bedingungen wie beim Bestrahlungsversuch in die Nähe einer frisch angelegten Kultur gebracht wurde. Eine Einwirkung auf das Bakterienwachstum war dann nicht vorhanden. Die Bestrahlung wurde mit einem Siemens & Halske-Induktor und Coolidgeröhre ausgeführt. Daß es sich um den Einfluß einer sehr stark absorbierbaren Strahlung handelte, ging daraus hervor, daß dort, wo die Platinnadel beim Beimpfen der Platten ein wenig in den Agar geraten war und die Kolonien so in die Tiefe wuchsen, selbst unter Gold nur eine geringe Wachstumshemmung eintrat.

Cluzet, Rochaix und Kofman stellten ebenfalls an Bakterien die Wirkung der sekundären Röntgen- und Radiumstrahlung fest. Wurden Peptonwasserkulturen von Typhus und Pyozyaneus in Röhrchen von 10 mm Durchmesser gebracht und ein Radiumröhrchen von 15 mg $RaBr_2$ in einer Platinhülse von 0,5 mm Dicke in die Kulturflüssigkeit eingetaucht, so gelang es, bei 0^0 Temperatur durch 12tägige Bestrahlung bei Typhus und 7tägige Bestrahlung bei Pyozyaneus das Wachstum völlig zu unterdrücken. Daß hierbei die Wirkung von sekundären Betastrahlen vorliegt, die von der Platinhülse des Radiumpräparates ihren Ausgang nehmen, wurde dadurch nachgewiesen, daß eine 1 mm dicke Glasschicht um das Platinfilter des Radiumröhrchens die schädigende Wirkung fast vollständig aufhob insofern, als nach 12tätiger Bestrahlung bei Pyozyaneus nur geringe Entwicklungsverzögerung von etwa 10 Stunden gesehen wurde. In den Röntgenversuchen der Verf. wurden massive Metallstücke oder kolloidale Metallösungen als Sekundärstrahler in die Kulturflüssigkeit gebracht. Aussaaten von Kulturen, die nur mit Metallen zusammengebracht oder nur bestrahlt waren, dienten als Kontrollen. Von soliden Metallen bewirkte Aluminium in Peptonwasserkulturen von Typhusbazillen im Vergleich zu den Kontrollen eine Wachstumshemmung. Eisen und Kupfer wirkten an und für sich kulturschädigend. Bei Dysenteriebazillen zeigten Kobalt und Nickel eine auf Sekundärstrahlen zu beziehende Wachstumshemmung. Wirkungslos blieben

Selen und Wismut selbst nach 14stündiger Bestrahlung. Durch Kadmium wurde die Kultur von vornherein geschädigt. Gar keine Wirkungen wurden mit harten Strahlen erzielt (20 Tage lang je 90 Minuten Bestrahlung) und ebensowenig mit kolloidalen Metalllösungen, die mit Peptonwasserkulturen im Verhältnis 2,5:1,5 gemischt bestrahlt wurden, soweit nicht, wie beim Silber, das Metall selber bakterientötend wirkte.

Immer mehr wurde in den weiteren Arbeiten die Rolle der Elektronen bei dem Zustandekommen des Sensibilisierungseffektes in den Vordergrund gestellt. Am stärksten zeigte sich ihr Einfluß in den Versuchen von Ellinger und Gans, in denen die Wirkung einer sekundären Fluoreszenzstrahlung von vornherein ausschied, weil sie in merklicher Menge durch die benutzten Strahlengemische gar nicht erregt wurde. In einem großen Teile der bisher beschriebenen Versuche, vielleicht mit alleiniger Ausnahme der eben genannten und der Versuchsanordnung von Milani und Donati und Halberstädter und Meyer, in denen die Sekundärstrahlenspender nicht in unmittelbare Berührung mit dem biologischen Objekt gebracht waren, mußte es zweifelhaft bleiben, ein wie großer Bruchteil der erzielten Wirkungssteigerung auf die Mitwirkung chemischer Einflüsse zurückzuführen sei. In den Versuchen von Holthusen wurde vor allem Wert darauf gelegt, die für das Zustandekommen der Wirkungen maßgebenden physikalischen und chemischen Faktoren voneinander zu trennen. Als Kriterium für die Intensität der Strahlenwirkung diente die Hämolyse und später der Grad der Braunfärbung von verdünntem hämolysierten Blut durch Methämoglobinbildung. Zu der Erythrozytensuspension bzw. den Hämoglobinlösungen wurden als Sensibilisatoren verschiedene Metallsalze, und zwar Kochsalz, Bromkalium, Jodkalium und Bariumchlorid hinzugefügt. Um einen Maßstab für den Einfluß zu haben, den die Anwesenheit der Salze als solcher auf die Geschwindigkeit der Methämoglobinbildung ausübte, diente der Vergleich mit der Wirkung, den der Zusatz der gleichen Salze auf die Reaktionsstärke der unter denselben Bedingungen vorgenommenen Quarzlampenbestrahlung ausübte. Hierbei wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß sich die Licht- und Röntgenreaktion ihrem Wesen nach nicht voneinander unterscheiden, wohl aber in den physikalischen Bedingungen ihres Zustandekommens, indem bei der Lichtreaktion die Absorption im lichtempfindlichen Molekül selber alleiniger Wirkungsort ist, bei der Röntgenreaktion aber auch die umgebenden Reaktionszentren als Sekundärstrahlenspender mit in Betracht gezogen werden müssen. Bei einem Vergleich der Geschwindigkeiten, mit denen sich die Hämoglobinlösungen nach verschiedenen Salzzusätzen im Röntgenversuch, bzw. Quarzlampenversuch durch Methämoglobinbildung verfärbten, ergab sich, daß Ausmaß und Geschwindigkeit der Methämoglobinbildung beim Bariumchlorid relativ zu den übrigen Salzen im Röntgenversuch auf etwa das Dreifache anstieg. Schon der Umfang dieser Wirkungssteigerung weist darauf hin, daß es sich dabei nur um den Einfluß der ausgelösten Primärelektronen handeln kann. Der Beweis dafür, daß die Wirkungssteigerung von äußerst stark absorbierbaren Sekundärstrahlen ausging, wurde dadurch erbracht, daß die sehr radiosensiblen Askariseier, in den gleichen Lösungen bestrahlt, in ihrer Anspruchsfähigkeit auf die Röntgenbestrahlung in keiner Weise beeinflußt wurden. Offenbar hatte der geringe Radius der Eier, der etwa 0,05 mm beträgt, bereits genügt, um die wirksamen Sekundärstrahlen von einer Einwirkung auf den zentral gelegenen Kern fernzuhalten.

Neuerdings kam Liechti auf die experimentelle Anordnung von Milani und Donati und Halberstädter und Meyer zurück, indem er ebenfalls die Wirkung verschiedener Metallsekundärstrahlen auf oberflächliche Agarkulturen von prodigiosus untersuchte. Methodisch schließen sich die Versuche eng an Meyer und Halberstädter an. Zunächst wurde der Einfluß der Ordnungszahl auf die Stärke der Sekundär-

strahlenwirkung nachgeprüft. Im ganzen wurden die Resultate der Voruntersucher bestätigt. Bei Anwendung metallischer Platten zeigten Elemente hoher Ordnungszahl keine intensivere Wirkung als solche von mittlerem Z. Bei Versuchen mit Metallsalzen, die zum Zwecke der Untersuchung in stets frischem und trockenem Zustande in die Fächer eines 5 mm tiefen Holztroges gepreßt waren (Fe, Sr, Mo, Ag, Sn, J, Ba, Ce, Hg, Pb), war ein ausgesprochenes Wirkungsmaximum bei Ordnungszahlen zwischen 47 und 50, ein darauffolgendes Minimum bei Z = 58 oder etwas höher und ein zweites Maximum bei Z = 80 vorhanden. Während die Dosiserhöhung bei blanken Metallen das 40—50fache betrug, bewirkten die Metallsalze eine Erhöhung um etwa das 25fache. Der Einfluß der Qualität der Erregerstrahlung kam darin zum Ausdruck, daß sich bei harten Strahlen das Schädigungsmaximum im Vergleich zu weichen Strahlen um ein Geringes nach der Richtung höherer Ordnungszahlen verschob. Durch Vergleich der Wirkung der blanken Metalle mit der Wirkung nach Bedeckung mit 0,1 Paraffin oder 0,2 mm dickem geleimten Schreibpapier oder 0,1 mm dickem Zelophan wurde die Wirkung stark herabgesetzt, aber nicht vollständig aufgehoben. Sie stieg jetzt schätzungsweise linear mit der Ordnungszahl des emittierenden Elementes. Das Auftreten des Intensitätsmaximums möchte der Verf. als Ausdruck der Beteiligung einer Fluoreszenzstrahlung deuten. Die weitgehende Aufhebung der Wirkung durch ein so geringes Filter wie 0,1 mm Paraffin beweist, daß es sich um eine sehr stark absorbierbare Sekundärstrahlung handelt, wofür nur die Elektronenstrahlung in Betracht kommt. Liechti sieht in dem Auftreten der zwei Maxima das Mitwirken der charakteristischen Wellenstrahlung. Daß der Einfluß der sekundären Wellenstrahlung überhaupt noch nachweisbar sein soll, wenn die Elektronenstrahlung für sich schon eine Wirkungssteigerung auf das 25—50fache hervorruft, ist schwer verständlich, da sie nach allem, was man weiß, nicht einmal eine Intensitätszunahme auf das Doppelte der Primärstrahlung zur Folge hat. Wir möchten gerade umgekehrt unter Hinweis auf das S. 421 Ausgeführte sagen, daß die Fluoreszenzstrahlung das Auftreten des Minimums bedingt hat. Sein Auftreten in der Gegend des Cer erscheint bei der von Liechti benutzten Primärstrahlung durchaus plausibel. Liechti ist damit in seinen Ergebnissen über Berg und Ellinger hinausgegangen und hat gezeigt, daß es auch bei komplexer Erregerstrahlung zu einem ausgesprochenen Minimum der Elektronenemission in der Gegend der Erregungskante kommt und nicht nur zu einem langsameren Anstieg mit der Ordnungszahl, wie es nach den Emissionskurven von Berg und Ellinger den Anschein hat. Holthusen und Sielmann haben kürzlich Versuche ausgeführt, welchen im wesentlichen die gleiche Methodik zugrunde lag wie Liechti und seinen Vorgängern, und deren ausführliche Wiedergabe an anderer Stelle erfolgen soll. Auch sie kamen im wesentlichen zu einer Bestätigung der Befunde ihrer Voruntersucher. Allerdings wurde in diesen Versuchen, bei denen der Abstand der Metalle von der Kulturoberfläche ein wenig mehr als 1 mm betrug, der gleiche Grad der Schädigung, den eine H.E.D. unter Zinn und Blei hervorrief, auf der freien Kulturoberfläche von einer Dosis ausgeübt, die zwischen 20 und 30 H.E.D. lag.

Abb. 6 zeigt die Wirkung der von einem Zinkblech ausgestrahlten Sekundärstrahlen (Primärelektronen) auf eine oberflächliche Prodigiosuskultur. Die Platte war während der Bestrahlung mit einer H.E.D. des mit 100 kV. eff. betriebenen Radiosilexapparates unter Anwendung von 0,5 mm Kupfer + 1,0 mm Aluminiumfilter zur Hälfte abgedeckt. Die Grenze der Abdeckung ist in der Abbildung durch einen Strich angegeben; a ist die bestrahlte, b die unbestrahlte Seite. Die ausgesparte Partie, auf der nur vereinzelt oberflächliche Kolonien aufgeschossen sind, entspricht der Lage eines senkrecht zur Abdeckungsgrenze angebrachten Zinnbleches von 1 cm Breite. Die Wirkung der Elek-

tronen greift deutlich über den Rand des Zinnbleches hinaus; der in seinem Wachstum beeinflußte Streifen ist wesentlich breiter als 1 cm und reicht auch mehrere Millimeter unter die abgedeckte Partie der Platte hinunter. Übrigens ist auch außerhalb des Zinnstreifens die Dichte der Kolonien auf der bestrahlten Plattenhälfte geringer als auf der unbestrahlten Hälfte. Die Platte zeigt zugleich, daß die vom Zinnblech ausgehende Strahlung äußerst absorbierbar war: eine dichte Aussaat feinster Kolonien im Innern des Agars war auch direkt unter dem Zinnstreifen in keiner Weise in Zahl und Wachstum der Kolonien beeinflußt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß für den Grad der Wirkungssteigerung die Einzelheiten des Versuches von entscheidender Bedeutung sind. Zu ihnen gehört die Qualität der Erregerstrahlung und der Abstand der Metalle von der Kulturoberfläche. Schließlich war das Versuchsobjekt selber, eine oberflächliche Bakterienkultur, dem Nachweis der sekundären Elektronenstrahlung besonders günstig, weil bei den Dimensionen der Bakterien selbst für die höchst absorbierbare Elektronenstrahlung eine Absorption innerhalb des Versuchsobjektes sich nicht wirkungshemmend geltend machte. Wählt man auch nur ein Objekt von etwas größerer Ausdehnung, wie z. B. die Askarideneier, so beträgt die Zunahme der Wirkung zwischen Aluminium und Blei kaum noch das Doppelte. In der Tabelle 8 finden sich die Resultate

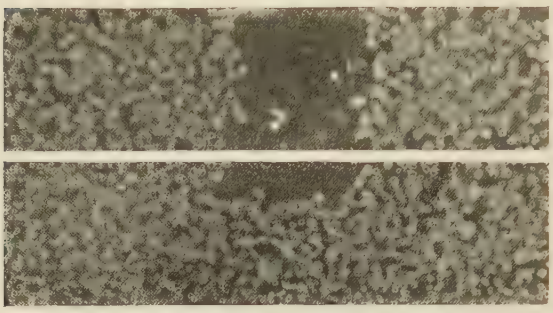


Abb. 6. Einwirkung der Sekundärstrahlung eines Zinnblockes auf eine oberflächliche Prodigiosuskultur.

Tabelle 8. Prozentische Schädigung von Askarieiern bei Bestrahlung auf verschiedenen Materialien.

	Strahlung: Radiosilex 90 kV. eff. Lilienfeldröhre	
	Zinkfilter	Kartonfilter
Holz (3 cm dick)	62	33
Aluminium	69	49
Wolfram	77	57
Platin	82	67
Blei	73	57

eines bisher nicht veröffentlichten Versuches des Verf. aus dem Jahre 1922, in dem die Eier gleichzeitig auf Holz und verschiedenen Metallblechen der zinkgefilterten Strahlung des Radiosilexapparates bei 100 kV. eff. ausgesetzt waren. Die Intensität der Schädigung ist durch die Prozentzahl der entwicklungsgehemmten Larven ausgedrückt. Ziehen wir in Betracht, daß die Wirkung der rückwärtigen Streustrahlung sich gerade in umgekehrter Richtung, also beim Holz am intensivsten geltend machen müßte, so ist ein Einfluß von Sekundärstrahlen, und zwar, da die Wirkung mit der Ordnungszahl ansteigt, von sekundären Elektronenstrahlen unverkennbar. Er ist jedoch nicht entfernt so ausgesprochen wie in den Bakterienversuchen. Das Maximum der Schädigung beim Platin spricht dafür, daß sich hier bereits der Einfluß einer sekundären Wellenstrahlung (K-Strahlung) geltend macht (vgl. Zeile 2 der Tabelle 7).

VI. Die klinischen und experimentellen Ergebnisse der Sekundärstrahlentherapie unter Berücksichtigung ihrer theoretischen Grundlagen.

Es bleibt die Aufgabe, das physikalische und biologische Experiment mit den klinischen Beobachtungen in Beziehung zu setzen. Unsere theoretischen Erörterungen führten uns unter Berücksichtigung der physikalischen Konstanten der Sekundärstrahlenemission zu dem Schluß, daß sich mit den sekundären Wellenstrahlen nur unter sehr günstigen Voraussetzungen ein geringer Sekundärstrahleneffekt erzielen läßt. Mit Unrecht und durchaus nicht im Sinne von Barkla, der zuerst die Anregung für die Anwendung der Sekundärstrahlen in Biologie und Medizin gab, wurde allzu häufig bei der Begründung der Strahlentherapie und Auswahl der geeigneten Sekundärstrahler der Schwerpunkt nach der Seite der sekundären Wellenstrahlen verlegt. Wenn in der Strahlentherapie überhaupt therapeutische Möglichkeiten liegen, so sind sie so gut wie ausschließlich in der Ausnutzung der in hochatomigen Körpern entstehenden sekundären Elektronenstrahlen gegeben. Hier lassen sich, wenigstens im biologischen Experiment, unter günstigen Bedingungen, wie die Untersuchungen an oberflächlichen Bakterienkulturen ergeben haben, erhebliche Wirkungssteigerungen erzielen. Leider sind diese Voraussetzungen bei der klinischen Anwendung der Sekundärstrahler nicht realisierbar. Übereinstimmend lehren die Versuche, daß bereits eine sehr geringe Filterdicke dazu ausreichend ist, um die wirksame Elektronenstrahlung vollkommen zu absorbieren. Von den beiden Sorten von Primärelektronen, die wir heute kennen, legen überhaupt nur die Absorptionselektronen und nur, wenn sie von harten Röntgenstrahlen ausgelöst sind, merkliche Strecken im Gewebe zurück, während die Rückstoßelektronen nur am Orte der Absorption selber wirksam sind. Auf alle Fälle muß der innigste Kontakt der Oberfläche des emittierenden kompakten Metalls oder der Metallpartikelchen mit dem Gewebe gefordert werden. Versuche von Hernaman-Johnson mit Wismutbrei, von Halberstädter und Meyer mit grauer Salbe ergaben, daß schon eine geringe Flüssigkeits- oder Fettschicht, wie sie sich auf Schleimhautoberflächen in der Regel finden dürfte, genügt, um die Wirkung der Primärelektronen vollkommen auszuschalten. Ebenso zeigte sich in den Versuchen von Holthusen, daß die bei oberflächlichen Bakterienkulturen so stark zur Wirkung kommende sekundäre Elektronenstrahlung ihren Einfluß schon fast vollständig verliert, wenn ein etwas größeres Versuchsobjekt, wie das Ei des Pferdespulwurms, gewählt wird. Das Heranbringen von massiven Sekundärstrahlern auf die Körperoberfläche kann daher günstigenfalls, bei harter Primärstrahlung und innigstem Kontakt mit dem Metall, in den allerobersten Zellschichten eine erhebliche Wirkungszunahme durch Elektronenstrahlung bedingen, im übrigen nur unter dem Gesichtspunkte des Einflusses einer eventuellen Fluoreszenzwellenstrahlung bewertet werden.

Steht die Ausnutzung der sekundären charakteristischen Wellenstrahlung in Frage, so führen die Gesetze über die Abhängigkeit der Eigenstrahlung von der Wellenlänge der Erregerstrahlung zu dem Schluß, daß die Auswahl des günstigsten Sekundärstrahlers von der Qualität der Erregerstrahlung abhängt. Der von Salzmann zuerst erhobene und später vielfach übernommene Befund eines Emissionsmaximums der Atome in der Umgebung von Silber, Zinn und Kadmium trifft nur für eine Erregerstrahlung von mittlerer Härte zu. Bei den heute in der Therapie üblichen Strahlenhärten liegt — wenn man von den seltenen Erden praktisch absehen kann —

das Emissionsmaximum der Eigenstrahlung in der Gegend des Wolfram. Betrachtet man die Sekundärstrahlung allein, so kann durch sie günstigenfalls immerhin eine Wirkungssteigerung auf etwas mehr als das Doppelte erzielt werden. Unter den Voraussetzungen, wie sich die Anwendung plattenförmiger Sekundärstrahler im Körper verwirklichen läßt, ist damit jedoch immer ein Ausfall an Streustrahlung verbunden, der die Wirkungszunahme durch Sekundärstrahlung zum großen Teile ausgleicht, häufig überkompensiert. Das alles gilt für den Fall, daß die rückwärts gerichteten Sekundärstrahlen ausgenutzt werden, indem das zu sensibilisierende Objekt sich zwischen Strahlenquelle und Sekundärstrahler befindet. Hat umgekehrt der Sekundärstrahler zwischen der Strahlenquelle und dem Körper seinen Platz, so ist nur unter ganz bestimmten, praktisch nicht in Betracht kommenden Bedingungen mit dünnen Metallfolien ein ganz geringer Effekt zu erzielen. So darf es nicht wundernehmen, daß die klinischen Erfolge bei dieser Art der Sekundärstrahlenanwendung mit massiven Metallstrahlern nur gering waren und daß sich diese Methode der Sekundärstrahlensensibilisierung nicht durchzusetzen vermochte, sondern bereits seit längerer Zeit vollständig verlassen ist.

Um so günstiger scheinen von vornherein die Verhältnisse für die Wirkung der sekundären Elektronenstrahlung, und zwar bei der Einführung der Sekundärstrahler in fein verteilter Form ins Gewebe zu liegen. Auf diesem Wege sind denn auch bis in die jüngste Zeit hinein immer neue Ansätze gemacht worden, die Sekundärstrahlung auszunutzen. Die Theorie zeigte uns (S. 421), daß sich die an irgendeinem Punkte im sensibilisierten Gewebe erreichte Wirkungsvermehrung aus zwei Teilwirkungen zusammengesetzt denken läßt, von denen die eine den zurückgestrahlten Elektronen entspricht, die andere Hälfte durch die in der Richtung der Primärstrahlen fallenden Elektronen hervorgerufen wird. Wir konnten danach die Berechnung der gesamten Wirkungszunahme auf die Fälle der Sekundärstrahlung aus flächenhaften massiven Sekundärstrahlern zurückführen. Wenn das berechtigt ist, so müßten sich irgendwie die Ergebnisse bei der Einwirkung von blanken Metallen und Metallsalzen bei Bakterien auf die Verhältnisse bei der Einbringung von Sekundärstrahlern ins Gewebe übertragen lassen. Das ist auch zweifellos möglich. Ein entscheidendes Moment, das berücksichtigt werden muß, ist jedoch die wesentlich geringere Zahl der Absorptions- und Sekundärstrahlenemissionszentren pro Volumeinheit in dem durch Injektion von Metallsalzen sensibilisierten Körpergewebe im Vergleich mit einem soliden Metallstrahler. Gudzent hat vor allem darauf aufmerksam gemacht, daß die Aussichten der Sekundärstrahlentherapie durch die Grenzen, bis zu denen wir die Konzentration des Sekundärstrahlers im Gewebe ohne Schädigung treiben können, sehr eng gezogen sind. Schon aus den von Gudzent angeführten Zahlen geht hervor, daß wenigstens auf dem Wege der intravenösen Einverleibung nur so geringe Konzentrationen am Bestrahlungsorte erreicht werden können, daß von ihnen eine merkliche Wirkungsvermehrung durch Sekundärstrahlung nicht erwartet werden kann. Tierexperimente haben dies bestätigt. Leider haben sich auch die Hoffnungen, die an die Möglichkeit geknüpft wurden, die Affinität bestimmter Substanzen zu pathologischen Geweben, insbesondere zum Tumorgewebe therapeutisch auszunutzen, nicht erfüllt. Wenn überhaupt nachweisbare Unterschiede in der Verteilung der Metallsalze im Körper eintraten, wie es z. B. durch die Analysen von Jeß für Jodsalze nachgewiesen wurde, so sind die gefundenen Unterschiede vom Standpunkte der Sekundärstrahlentherapie aus gesehen praktisch bedeutungslos. Von verschiedenen Seiten ist die Frage ventiliert worden, ob die im Körper physiologischerweise vorhandenen Sekundärstrahler Eisen und Kalk etwas mit der Strahlenwirkung als solcher zu tun haben (Loewenthal, Picard) und bei pathologischer Anhäufung in

bestimmten Zellen und Geweben für diese gefahrbringend sein können (Weber). Zwei Erwägungen entziehen diesen Vorstellungen den Boden. Erstens ist auch die Konzentration dieser Sekundärstrahler im allgemeinen viel zu gering, um eine meßbare Wirkung hervorzurufen, und zweitens werden, wie unsere Versuche mit der Sekundärstrahlenwirkung von Metallblechen auf die photographische Platte ergaben, im Eisen nur so wenig Elektronenstrahlen, und sekundäre Fluoreszenzstrahlen erst bei so niederen Härtegraden erregt, wie sie weder in der Diagnostik noch viel weniger in der Therapie zur Anwendung kommen. Größere Konzentrationen der Sekundärstrahler lassen sich bei direkter Injektion in das erkrankte Gewebe erzielen. Doch wird hiermit zugleich eine oft unkontrollierbare Schädigung gesetzt, die sich dann sehr häufig in einer vehementen Bestrahlungsreaktion äußert. Als einwandfreier Beweis für das Vorkommen einer physikalischen Sensibilisierung beim Hinzufügen von Salzen zu einem biologischen System kann eigentlich allein der Versuch in Anspruch genommen werden, in dem die Erhöhung der Geschwindigkeit der Methämoglobinbildung durch Zusatz einer Bariumchloridlösung nur auf diesem Wege erklärt werden konnte. Hier lagen jedoch Verhältnisse vor hinsichtlich der Konzentration des verwendeten Sekundärstrahlers (6 % ige Lösung!), wie sie im lebenden Körper höchstens in den Versuchen von Ellinger und seinen Mitarbeitern verwirklicht wurden. Auch in diesem Falle war die erhaltene Wirkungssteigerung wesentlich geringer, als sie von der Theorie gefordert war. Im Zusammenhange mit dem, was wir bei der Diskussion der Versuche von Ellinger und Berg ausgeführt haben, ist es auch hier wahrscheinlich, daß das Zurückbleiben hinter der errechneten Wirkung auf die Nichtberücksichtigung des ausgleichenden Einflusses der Rückstoßelektronen zurückzuführen ist. Die ganze Argumentation bei der Sekundärstrahlensensibilisierung baut auf der Vorstellung von der Absorptionsvermehrung durch Hinzufügen hochatomiger Substanzen auf. Erfahren wir nun aber durch die Arbeit von Fricke und Glasser, daß die Absorptionselektronen bei harten Strahlen nur noch den zehnten Teil der Rückstoßelektronen ausmachen, so wird auch den theoretischen Vorstellungen, welche die Möglichkeit einer Verwendung des Sekundärstrahleneffektes in der Therapie ergaben, der Boden weitgehend entzogen.

Von Ghilarducci insbesondere ist noch ein anderer wichtiger Gesichtspunkt angeführt worden, der uns veranlassen muß, der Sekundärstrahlentherapie unser Interesse zuzuwenden, nämlich der Umstand, daß den Sekundärstrahlen als Strahlen von anderer Wellenlänge als die Primärstrahlen eine besondere biologische Wirkung zukomme. Über die Frage der Abhängigkeit der biologischen Wirkung in qualitativer Beziehung von der Wellenlänge der einwirkenden Strahlung bestehen noch große Meinungsverschiedenheiten, die zu erörtern hier nicht der Platz ist. Der Nachweis für das Vorhandensein qualitativ verschiedenartiger Wirkungen von Strahlen verschiedener Härtegrade hat nie erbracht werden können. Holthusen und andere haben wiederholt darauf hingewiesen, daß der von der biologischen Verschiedenwertigkeit von Licht verschiedener Wellenlänge hergenommene Vergleich aus physikalischen Gründen unhaltbar ist. Alle biologischen Erfahrungen und physikalischen Überlegungen sprechen vielmehr für eine Unabhängigkeit der Qualität der biologischen Strahlenreaktion von der Wellenlänge. So muß jeder Versuch, nach Einführung eines Sekundärstrahlers ins Gewebe Änderungen der Strahlenreaktion auf die veränderte Qualität der zur Absorption gelangten Röntgenstrahlung zurückzuführen, von vornherein sehr skeptisch beurteilt werden.

Kommen wir somit dazu, die Aussichten für die Verwirklichung einer Sekundärstrahlentherapie in der Form, wie sie Barkla bei seiner ersten Anregung vorgeschwebt hat, als sehr gering zu bezeichnen, so bleiben die zum Teil erheblichen klinischen Wir-

kungen vieler der Maßnahmen, die in der Absicht der Sekundärstrahlenausnutzung ausgeführt sind oder bei denen eine Mitwirkung der Sekundärstrahlen wenigstens in Betracht gezogen werden muß, zu erklären übrig. Es ergab sich schon wiederholt Gelegenheit, darauf hinzuweisen, daß die experimentellen Untersuchungen über die Sekundärstrahlensensibilisierung nur in den seltensten Fällen „reine Versuche" darstellen. Noch viel weniger darf von den klinischen Untersuchungen mit Sekundärstrahlern behauptet werden, daß bei ihnen reine Versuchsbedingungen in dem Sinne vorgelegen hätten, daß in ihnen allein die physikalische Wirkung des Strahlungszuwachses durch Sekundärstrahlen die Strahlenreaktion beeinflußt habe. Fast in allen Fällen ist noch eine chemisch-pharmakologische Wirkung der benutzten sekundärstrahlenspendenden Substanzen in Rechnung zu ziehen. Über ihren Einfluß bei dem Ausfall der Versuche, welche die Übertragung der photodynamischen Wirkung des sichtbaren Lichtes auf Röntgenstrahlen zum Gegenstande hatten, wurde schon gesprochen. Die Größe ihrer Mitwirkung ist in den meisten Fällen schwer zu beurteilen. Auch ist ihr Einfluß bei den pharmakologisch weitgehend verschiedenartigen Substanzen, die Verwendung gefunden haben, durchaus nicht gleichmäßig. In einzelnen Fällen, wie bei der Anwendung kolloidaler Metallösungen zur Sensibilisierung von Tumorgewebe, ist daran zu erinnern, daß die kolloidalen Metalle als solche das Tumorwachstum, wenigstens im Tierexperiment, zu hemmen, ja in einzelnen Fällen Tumoren zu völligem Verschwinden zu bringen vermögen. Tatsächlich sind mehrere der im ersten Teile dieser Arbeit namhaft gemachten Autoren bei der Anwendung kolloidaler Metallösungen in Kombination mit der Strahlentherapie zunächst gar nicht von der Ausnutzung ihrer Eigenschaft als Sekundärstrahler ausgegangen, sondern wollten sie als pharmakologisches Adjuvans der Strahlenwirkung benutzen. Bei vielen der verwendeten Substanzen handelt es sich um ausgesprochene Zellgifte. Auf die Arbeiten von Jodlbauer und Tappeiner und Jodlbauer und Haffner über die Dunkelreaktion der photodynamisch wirksamen Farbstoffe wurde schon eingegangen, ebenso auf die Untersuchungen von Hoffmann, von Kroetz u. a., aus denen das Manifestwerden unterschwelliger schädigender Reize in Verbindung mit Strahlenreizen hervorgeht (S. 389). Mit großer Wahrscheinlichkeit darf behauptet werden, daß so gut wie alle klinischen Beobachtungen über Sekundärstrahlensensibilisierung, soweit sie überhaupt einer kritischen Beurteilung standhalten — in den meisten Fällen fehlt ein entsprechendes Vergleichsmaterial —, auf das Zusammenwirken der Strahlen und einer „chemischen Sensibilisierung" zurückzuführen sind. Es kann nicht die Aufgabe sein, diese Einflüsse in allen Einzelarbeiten nachzuweisen. Generell sei noch einmal bemerkt, daß der Vorversuch, in dem das Sensibilisierungsmittel sich in den angewandten Konzentrationen als unwirksam erwies, nicht ausreicht, um einen pharmakologischen Einfluß bei der kombinierten Strahlen- und Sensibilisierungsreaktion in Abrede zu stellen.

Wenn die kritische Sichtung des gesamten zur Frage der Sekundärstrahlensensibilisierung vorliegenden experimentellen und klinischen Materials auch dazu führen muß, ihr eine maßgebende Bedeutung für die Klinik abzusprechen, so soll damit die Forschung nur mit um so größerem Nachdruck auf den aussichtsreicheren Weg der chemischen Sensibilisierung mit dem Ziele einer Steigerung der Empfindlichkeit des Angriffspunktes der Strahlen auf chemisch-pharmakologischem Wege hingewiesen werden.

Literaturverzeichnis.

Albers-Schönberg, H., Lehrbuch der Röntgenkunde (3) S. 354, L. Graefe und Sillem, Hamburg 1910.

Das Problem der Sekundärstrahlentherapie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1914, 21 S. 60.

Allen, S. J. M., The absorption coefficients of homogenous X-rays between wave-lengthes of 0,1 A. U. a. 0,71 Å. U., Phys. Rev. 1924, 23 S. 291.

Anten, Über den Verlauf der Ausscheidung des Jodkalis im menschlichen Blut, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 1912, 48 S. 331.

Baldwin, W. M., The increased absorption of X-rays by vitally stained white rats, Journ. of exper. med. 1923, 37 S. 357.

Barkla, C. G., The treatment of cancer by X-rays, Brit. med. Journ. 1910, November 12 S. 1532/33.

— Sekundäre Röntgenstrahlen in der Medizin, Strahlenther. 1914, 4 S. 570.

— u. C. A. Sadler, Homogenous secondary roentgen-radiations, Phil. Mag. 1908, 16 S. 550.

— u. A. E. M. M. Dallas, Notes on corpuscular radiation excited by X-rays, Phil. Mag. 1924, 47 S. 1.

Beck, C. A., zit. nach Christen (s. d.).

Berg, O. und Ph. Ellinger, Über biologische Röntgenstrahlenwirkungen, II. Mitt.: Die Abhängigkeit der Elektronenemission u. Streustrahlung vom dem chemischen Bau der bestrahlten Materie, Strahlenther. 1922, 14 S. 527.

— Über die Emission von Elektronen bei Bestrahlung verschiedener Substanzen mit Röntgenstrahlen, Wissenschaftl. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern 1922, 2 S. 331.

Bessunger, Ein neuer Weg zur Lupusheilung, D. m. W. 1918 S. 1076.

— Behandlung des Lupus mit röntgenisierten Jodsubstanzen, Strahlenther. 1920, 11 S. 345.

Bothe, W., Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen, I. Mitt., Zschr. f. Phys. 1923, 16 S. 319.

— Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen, II. Mitt., Zschr. f. Phys. 1923, 20 S. 237.

Bragg, W. H. and H. L. Porter, Energy transformations of X-rays, Proc. of the royal soc. 1911 85 S. 349.

de Broglie, Les phénomènes photoélectriques pour les rayons-X, Journ. de Phys. et du Radium 1921, 2 S. 265.

Ceresole, Über die biologische Wirkung der sekundären Fluoreszenzstrahlung in einer kolloidalen Silberlösung. La Radiologia medica 1917, 4. ref. Strahlenther. 1919, 9 S. 714.

Cermak, P. und F. Dessauer, Über die Sekundärstrahlen als Gefahrenquelle, Fortschr. d. Röntgenstr. 1916, 23 S. 421.

Christen, Th., Über die physikalischen und physiologischen Grundlagen der Tiefentherapie, Strahlenther. 1912, 1 S. 51.

Cluzet, J., Utilisation du rayonnement secondaire produit par les rayons-X, Lyon. méd. 1921 S. 693.

— A. Roschaix et Th. Kofman, Action sur les microbes du rayonnement secondaire, Cpt. rend. de l'Acad. des sciences 1922, 175 S. 546.

— Action sur les microbes du rayonnement secondaire des rayons-X et du radium, Journ. de physiol. et de pathol. générale 1922, 20 S. 548.

Compton, A. H., Absorption measurements of the change of the wave-length accompanying the scattering of X-rays, Phil. Mag. 1923, 46 S. 897.

Debye, P., Zerstreuung von Röntgenstrahlen u. Quantentheorie, Phys. Zschr. 1923, 24 S. 161.

Dorn, E., Arbeiten der naturforschend. Ges. Halle, 20. Jan. 1900.

Duane, W. und K. C. Mazumder, Absorption of the short X-rays by aluminium a. copper., Proc. Nat. Acad. Amer. 1922, 8 S. 45.

Eder, J. M., Über Sensibilatoren bei photochemischen, photographischen u. biologischen Prozessen, Jb. d. Radioakt. u. Elektronik 1922, 19 S. 71.

Ellinger, Ph., Steigerung u. Abgrenzung der biologischen Röntgenstrahlenwirkung, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 30 S. 174.

— u. O. Gans, Über biologische Röntgenstrahlenwirkungen, I. Mitt.: Über Steigerung u. Abgrenzung der biologischen Röntgenstrahlenwirkung, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 1922, 95 S. 291.

— und Rapp, Das Thorium als Sensibilisierungsmittel, Strahlenther. 1923, 15 S. 851.

Fricke, H. und O. Glasser, Über die durch Röntgenstrahlen in Elementen niederen Atomgewichts ausgelösten sekundären Elektronen, Zschr. f. Phys. 1924, 29 S. 374.

Friedrich, W. und M. Bender, Experimentelle Beiträge zur Frage der Sekundärstrahlentherapie, Strahlenther. 1920, 11 S. 1.

Fraenkel, M., Beziehung zwischen Schilddrüse u. Genitale bei beiden Geschlechtern, D. m. W. 1924 S. 108.

Franck, J., Neuere Erfahrungen über quantenhaften Energieaustausch bei Zusammenstößen von Atomen und Molekülen, Erg. d. exakt. Naturw. 1923, 2 S. 106.
Gauß, C. J. und H. Lembcke, Röntgentiefentherapie, ihre theoretischen Grundlagen, ihre praktische Anwendung und ihre klinischen Erfolge, I. Sonderbd. der Strahlenther., Urban und Schwarzenberg, Berlin 1913.
Gauthier, Archives provinciales de chirurgie, Avril 1904, ref. M. m. W. 1904 S. 1444.
Ghilarducci, F., Azione biologica e curativa delle radiazioni secondarie ottenute per mezzo della ionoforesi argentica, XIa riunione della società italiana per il progresso delle scienze, Trieste, sett. 1921.
— Intorno ad alcune vedute moderne sull'azione bio-fisica dei raggi X, La radiologia medica 6, fasc. 7/8.
— Esiste un' attività biologica di tutte le radiazioni specifica per ogni lunghezza d'onda? Rassegna
— internazionale di Clinica e Terapia 1922, anno III Nr. 4.
L'attività specifica delle radiazioni nella biologia e nella clinica, Kongreß der belg. Ges. zur Bekämpfung des Karzinoms, Brüssel 1923.
— e E. Milani, Azione biologica e curativa delle sostance fluorescenti associati ai raggi X, Il policlinico 1912.
Glocker, R., Über die Abhängigkeit der Sekundärstrahlenemissionskoeffizienten von der Wellenlänge der erregenden Röntgenstrahlen, Phys. Zschr. 1916, 17 S. 488.
— Über Absorption und Streuung der Röntgenstrahlen, Fortschr. d. Röntgenstr. 1917/1918, 25 S. 421, 470.
— Über die Berechnung der sekundären Röntgenstrahlung in einer Platte, Phys. Zschr. 1918, 19 S. 249.
Großmann, G., Über Sekundärstrahlen und Sekundärstrahlentherapie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1914, 22 S. 427.
— Über Sekundärstrahlen als Gefahrenquelle, Fortschr. d. Röntgenstr. 1915/1916, 23 S. 182.
Gudzent, F., Biologische Versuche zur Steigerung der Strahlenwirkung, Strahlenther. 1920, 11 S. 277.
Hahn, Ein Beitrag zur Röntgentherapie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1904, 8 S. 120.
Halberstädter, L. und F. Goldstücker, Untersuchungen über die biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen im Trypanosomenexperiment, Strahlenther. 1918, 8 S. 35.
— und P. S. Meyer, Über die Wirkung von primären u. sekundären Röntgenstrahlen auf die Bakterien, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 24 S. 489.
— und A. Simons, Über Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung, Ergebnisse aus Versuchen an der menschlichen Haut, Strahlenther. 1923, 15 S. 65.
Harris, Vh. d. British Med. Association, Birmingham 1911, zit. nach Christen (s. d.).
Hernaman-Johnson, F., The treatment of certain diseases of the alimentory tract by secondary X-rays from netallic silver, Arch. of the Roentgen-Ray 1911, 16 S. 248.
— Secoundary X-radiations: Their uses and possibilities in medicine, Arch. of the Roentgen-Ray 1912, 17 S. 30
Hewlett, C. W., The mass absorption and the mass scattering coefficients for homogenous X-rays of wave length between 0,13 and 1,05 A.U. in water, lithium, carbon, nitrogen, oxygen, aluminium and iron, Phys. Rev. 1921, 17 S. 284.
Hoffmann, V., Über Erregung und Lähmung tierischer Zellen durch Röntgenstrahlen, Strahlenther. 1922, 13 S. 285.
Holthusen, H., Über die Bedingungen der Röntgenstrahlenenergiemessung bei verschiedenen Impulsbreiten auf luftelektrischem Wege, Fortschr. d. Röntgenstr. 1918, 26 S. 211.
— Willkürliche Beeinflussung der Strahlenempfindlichkeit (Beiträge zum Sensibilisierungsproblem), Fortschr. d. Röntgenstr. 1923, 29 S. 777.
— Über die Beziehungen zwischen physikalischer und biologischer Dosierung, Vh. d. D. Röntg. Ges. 1924, 15 S. 73.
Holzbach, E., Theoretisches und Praktisches zur Röntgentiefentherapie, Strahlenther. 1913, 3 S. 279.
Holzknecht, G., Zur Farbentransformationstherapie (Sensibilisierung, Fluoreszenz), B. kl. W. 1904 S. 1194.
Innes, P. D., On the velocity of the cathode particles emitted by varions metals under the influence of X-rays and its bearing on the theory of atomic disintegration (A), Proc. Ray. Soc. 1907, 79 S. 442.
Jeß, Fr., Über Speicherung von Jod in Karzinomgewebe (Ein Beitrag zur Frage der Erzeugung und Verwertung von Sekundärstrahlen durch Einbringung von Eigenstrahlern in den Körper, M. m. W. 1921 S. 323.
Jodlbauer, A.: Über die Wirkung photodynamischer Substanzen bei Röntgen- und Radiumbestrahlung, D. Arch. f. klin. M. 1904, 80 S. 488.

Jodlbauer, A. und H. v. Tappeiner, Die Beziehungen zwischen der photodynamischen Wirkung der fluoreszierenden Stoffe und ihrer Fluoreszenz, Strahlenther. 1913, 2 S. 84.
— und F. Haffner, Über den Zusammenhang von Dunkelwirkung fluoreszierender Stoffe und Photodynamik auf Zellen, Biochem. Zschr. 1921, 118 S. 150.
Klein, G., Primäre Ergebnisse der kombinierten Karzinombehandlung mit Mesothorum, Röntgenstrahlen und intravenösen Injektionen, M. m. W. 1914 S. 115.
Klotz, R., Die Beeinflussung des inoperablen Uteruskarzinoms mit Strahlen und intravenöser Chemotherapie, M. m. W. 1913 S. 1704.
Kossel, Über die Ergiebigkeit der Röntgenfluoreszenz und die Frage des Intensitätsvergleichs an Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, Zschr. f. Phys. 1923, 19 S. 333.
Kothe, Über den Einfluß photodynamischer Substanzen auf die Wirkung der Röntgenstrahlen, D. m. W. 1904 S. 1384.
Krönig, B. und W. Friedrich, Physikalische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie. 3. Sonderbd. zur „Strahlentherapie", Urban u. Schwarzenberg, 1918.
Lenk, R., Zur Frage der Filtersekundärstrahlen, Strahlenther. 1920, 11 S. 471.
Liechti, A., Untersuchungen über die Wirkung von Metallen als Sekundärstrahler, Kl. W. 1924 S. 825.
Lindemann, W., Über die Bedeutung des Mineralstoffwechsels in der Strahlentherapie (Selbstsensibilisierung des Darmes), M. m. W. 1918 S. 1048.
Löwenthal, S., Zur Strahlentherapie der Geschwülste, B. kl. W. 1913 S. 1519.
— Über sekundäre Elektronenbildung, Strahlenther. 1915, 5 S. 199.
Martenstein, H., Experimentelle Untersuchungen bei Hydroa vacciniforma, Arch. f. Derm. u. Syph. 1922, 140 S. 300.
Martin, Ch. L. und G. T. Caldwell, The relation of temperature changes to roentgen-ray skin reactions, Americ. Journ. of roentgenol. 1922, 9 S. 152.
Milani, E., und Donati, C., Azione antibatterica delle radiazioni secondarie delle lamine metalliche sul bacillo piocianeo, Radiologia medica 1921, 8 S. 417.
Moore, H., On the corpuscular radiation liberated in vapours by homogenous X-radiation, Proc. Roy. Soc. 1915, 91 S. 337.
Morton, Artificial fluorescence of living human tissue, New-York med. Review 1903, 2 S. 215.
Müller-Immenstadt, Die Röntgenbestrahlung der Tumoren und ihre Kombinationen, M. m. W. 1913 S. 1804.
Müller, W., Experimentelle Untersuchungen über die biologische Wirksamkeit künstlich erzeugter Sekundärstrahlen, Strahlenther. 1920, 10 S. 219.
Neuberg, C., W. Caspari und H. Löke, Weiteres über Heilversuche an geschwulstkranken Tieren mittels tumoraffiner Substanzen, B. kl. W. 1912 S. 1405.
Neusser u. Halberstädter, Mitteilungen üb. Lichtbehandlung nach Dreyer, D. m. W. 1904 S. 265.
Pagenstecher, A., Über die Benutzung von Sekundärstrahlen zur Verstärkung der Röntgenstrahlenwirkung (vorläufige Mitt.), M. m. W. 1913 S. 1319.
Palugyay, J., Zur Frage der Sensibilisierung in der Strahlentherapie, D. m. W. 1921 S. 831.
Petry, E., Zur Mechanik der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen, Biochem. Zschr. 1913, 56 S. 341.
Piccaluga: Sulla cura nelle emocroidi per mezzo della radioterapia, La radiologia medica 1923, 10 Nr. 10 (zit. nach Wetterer).
Plesch, J., Zur Behandlung der Tumoren mit fluoreszierenden Substanzen, M. Kl. 1923 S. 971.
Polland, R., Therapeutische Versuche mit Radium und sensibilisierenden Substanzen, W. kl. W. 1904 Nr. 44.
Richtmyer, F. K., The laws of absorption of X-rays, Phys. Rev. 1921, 18 S. 13.
— Mass absorption coefficient as a function of wave-length above and below the X-ray limit of the absorber, Phys. Rev. 1921, 17 S. 264.
— und K. Grant, The mass absorption coefficient of water, aluminium, copper and molybdenum for X-rays of short wave-length, Phys. Rev. 1920, 15 S. 547.
— und F. W. Warburton, The absorption of X-rays by iron, cobalt, nickel and copper, Phys. Rev. 1923, 22 S. 539.
v. Rohrer, L., Sensibilisierung gegen Röntgenstrahlen, D. m. W. 1918 S. 1394.
— Die Sensibilisierungsfrage in der Strahlentherapie, D. m. W. 1920 S. 1077.
Sadler, Ch. A., Transformations of X-rays, Phil. Mag. 1909, 18 S. 107.
— The transformation of the energy of homogenous Roentgen radiation into energy of corpuscular radiation, Phil. Mag. 1911, 22 S. 447.
Salzmann, F., Untersuchungen über den Ersatz radioaktiver Substanzen durch Röntgenstrahlen bei der Tiefentherapie, D. m. W. 1913 S. 2557.

Samssonow, Radiosensibilation artificielle des tissus par l'introduction de particules métalliques jouant le rôle de radiateurs, Paris méd. 2. févr. 1924 (zit. nach Wetterer).
Schleußner, Sensibilisierung von Röntgenplatten, Vh. D. Röntg. Ges. 1923, 13 (2. Hälfte) S. 36.
Schwarz, G., Zur Frage der Sekundärstrahlentherapie, W. kl. W. 1913 S. 1899.
— Desensibilisierung und Sensibilisierung in der Röntgentherapie, aus Rieder-Rosenthal, Lehrb. d. Röntgenk. 3 S. 70, J. A. Barth, Leipzig 1922.
Sellheim, H., Neue Wege zur Steigerung der zerstörenden Wirkung der Röntgenstrahlen auf tiefliegende Geschwülste, M. m. W. 1913 S. 2266.
v. Seuffert, E., Heutiger Stand, Probleme und Grenzen der Strahlenbehandlg. des Krebses, Strahlenther. 1914, 4 S. 740.
— Lehrbuch der physikalischen, biologischen und klinischen Grundlagen zur Strahlentiefentherapie und ihrer Anwendung in der Gynäkologie, S. Karger, Berlin 1923.
Siedamgrotzky, K. und H. Picard, Krebsbestrahlung und Sensibilisierung mit Thoriumnitrat, Strahlenther. 1923, 15 S. 634.
Sluys, Création de foyers multiples de rayonnement β secondaire du sein des tissus dans un but thérapeutique (β-thérapie profonde), Cpt. rend. hebdow. des séances de l'acad. des sciences 1923, 177 S. 800.
Spieß, G.: Zur kombinierten Chemo- und Strahlentherapie bösartiger Geschwülste mit einem Beitrage: Über Sekundärstrahlentherapie von Fr. Voltz, Fortschr. d. Röntgenstr. 1919, 26 S. 341.
Stepp, W., Über Röntgentiefentherapie in der inneren Medizin mit besonderer Berücksichtigung der Erzeugung und Verwertung von Sekundärstrahlen durch Einbringung von Eigenstrahlern in den Körper, Strahlenther. 1920, 10 S. 143.
— und P. Cermak, Über die bewußte Erzeugung und Verwertung der Sekundärstrahlen bei der Röntgentherapie, M. m. W. 1918 S. 1102.
Steuart, W., A method of treating carcinoma of the oesophagus, Archives of the Roentgen-Ray 1913, 17 S. 414.
v. Tappeiner, H., Die photodynamische Erscheinung (Sensibilisierung durch fluoreszierende Stoffe), Erg. d. Physiol. 1909, 8 S. 698.
— und A. Jodlbauer, Über die Wirkung der photodynamischen (fluoreszierenden) Stoffe auf Protozoen und Enzyme, D. Arch. f. klin. M. 1904, 80 S. 427.
Ulrichs, B., Über kombinierte Gold- und Strahlenbehandlung bei der Drüsentuberkulose, D. m. W. 1920 S. 14.
v. d. Velden, Zur Jodverteilung unter pathologischen Verhältnissen, Biochem. Zschr. 1908, 9.
Voltz, F., Die sekundären Strahlungen der Röntgenstrahlen und der Gammastrahlen der radioaktiven Substanzen, Strahlenther. 1918, 8 S. 337.
— Sensibilität und Sensibilisierung in der Strahlentherapie, M. m. W. 1922 S. 782.
— Sensibilität und Sensibilisierung in der Strahlentherapie, Fortschr. d. Röntgenstr. 1922, 29 S. 61.
v. Wassermann, A., Analyse der Wirkung radioaktiver Substanzen auf den Mäusekrebs, D. m. W. 1914 S. 524.
Werner, R., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der Radiumstrahlen auf tierische Gewebe und die Rolle des Lezithins bei derselben, Zbl. f. Chir. 1904, 31 S. 1233.
— Zur lokalen Sensibilisierung und Immunisierung der Gewebe gegen die Wirkung der Radiumstrahlen, D. m. W. 1905 S. 1072 u. 1111.
— Die Strahlenbehandlung bösartiger Neubildungen innerer Organe, Strahlenther. 1915, 5 S. 610.
Whiddington, R., X-ray electrons, Phil. Mag. 1922, 43 S. 1116.
Wichmann, Über Versuche der Sensibilisierung, Ärztl. Ver. Hambg., 26. Nov. 1907, ref. M. m. W. 1907 S. 2506.
— Sensibilisierung innerer Organe, Fortschr. d. Röntgenstr. 1918, 12 S. 128.
Wilson, C. T. R., Investigations on X-rays and β-rays by the cloud method, Proc. Roy. Soc. (A) 1923, 104 S. 1 u. 192.
Windgårdh, K. A., Über den Wert von C. in der Beziehung $\mu/\rho = C\lambda^3 + k$, Zschr. f. Phys. 1923, 20 S. 315.
Wintz, H., Die Erfahrungen mit der Röntgentherapie der Krebse an der Erlanger Frauenklinik, Strahlenther. 1923, 15 S. 770.
— Die Röntgenbehandlung des Uteruskarzinoms, Georg Thieme, Leipzig 1924.
Wolze und A. Pagenstecher, Erfolgreiche Behandlung eines inoperablen Mandelssarkoms mit Cuprase und Röntgenstrahlen, M. m. W. 1923 S. 1036.
Ziegler, J., Über Steigerung der Röntgenstrahlenwirkung durch künstlich erzeugte Sekundärstrahlen, Verh. D. Röntg. Ges. 1921, 12 S. 33.

Der Röntgenhoden

Von

Priv.-Doz. Dr. **Hans R. Schinz** und Dr. **Benno Slotopolsky**

Mit 38 Abbildungen im Text, 4 Tabellen
und 1 Schema

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Problemstellung 445

II. Der Verlauf der Röntgenatrophie des Hodens 449

1. Die Früheffekte 449
2. Die Stadien der Depopulation 457
3. Die Restitution 469

III. Der Einfluß der Dosis 476

1. Verschieden starke Dosen bei einmaliger Bestrahlung 478
2. Einmalige und fraktionierte Bestrahlung 483

IV. Das Verhalten der einzelnen Kategorien des Samenepithels gegenüber der Röntgenenergie. Die Stellung der Röntgenhypobiosen des Hodens unter den Hodenhypobiosen überhaupt 486

V. Die Latenzzeit bei der Röntgenatrophie des Hodens 491

VI. Die Zwischenzellen 493

VII. Die Mitosen 507

VIII. Die Sertolizellen. Repopulation oder Regeneration? 511

IX. Zusammenfassung 519

X. Literaturverzeichnis 521

I. Problemstellung.

Der Einfluß der Röntgenstrahlen auf den geschlechtsreifen Hoden erscheint auf den ersten Blick als ein heute restlos gelöstes Problem, als ein Gebiet, auf dem es kaum noch etwas zu untersuchen gibt. Die Anzahl der diesem Thema gewidmeten Arbeiten ist in der Tat eine recht große. Im Anschluß an den aufsehenerregenden Befund von Albers-Schönberg (1903) wurden in den folgenden 8 Jahren dem Röntgenhoden von verschiedenster Seite eine größere Anzahl von Untersuchungen gewidmet, die mit den Arbeiten von Simmonds (1909/10) und von Kyrle (1911) einen gewissen Abschluß fanden[1]). Seither hat das Thema die Forscher kaum mehr beschäftigt. Die diesbezüglichen Darlegungen in den Lehrbüchern der Röntgenbiologie und Röntgentherapie und in neueren sexualbiologischen Arbeiten, die die Röntgenatrophie des Hodens im Hinblick auf die Probleme der Hodeninkretion in den Kreis ihrer Betrachtung ziehen (z. B. Stieve 1921), stützen sich auf jene genannten Untersuchungen der Jahre 1903—1911, dabei werden im deutschen Sprachgebiete neben der Arbeit von Herxheimer und Hoffmann (1908), vor allem die Arbeiten von Kyrle (1911) und Simmonds (1909/10) zugrunde gelegt. Ein näheres Studium dieser Arbeiten ergibt aber, daß sie noch sehr viele und gar nicht unwichtige Lücken aufweisen. So geben diese Arbeiten vor allem kein klares Bild über die Histogenese der Röntgenatrophie des Hodens, sondern beschränken sich im wesentlichen auf die Schilderung der Endeffekte. So sagt charakteristischerweise Simmonds: „Es ist überhaupt recht schwer, eine bestimmte Reihenfolge der Zerstörungserscheinungen in den geschädigten Samenkanälchen festzustellen. Von mehreren Untersuchern wird zwar angegeben, daß zuerst die Spermatogonien, dann die Spermatozyten, dann die Spermatiden geschädigt werden. Das ist in manchen Fällen wohl vorauszusetzen, in der Mehrzahl der Beobachtungen tritt das Bild der Zerstörung indes plötzlich auf, ohne daß es möglich ist, bestimmte Angaben über den Verlauf des Prozesses zu machen“[2]). Und Müller (1915) berichtet aus dem Institutt Heinekes ganz entsprechend, daß die Strahlenveränderungen am Hoden „erst nach

[1]) Die Literatur bis 1910 ist, soweit speziell der Röntgenhoden in Betracht kommt, in einem Übersichtsreferat von Faber (1910—1911) zusammengefaßt worden. Nicht berücksichtigt sind in dieser Zusammenfassung die Untersuchungen über die Einwirkung von γ-Strahlen auf die männliche Keimdrüse von Seldin (1904), Scholtz (1904), Thies (1905), Thaler (1905), Werner (1906) u. a. (vgl. Literaturverzeichnis). Gleichzeitig mit dem Referat von Faber erschienen die beiden obengenannten wichtigen Arbeiten von Simmonds und Kyrle und eine für die Zytologie der Strahlenwirkung wichtige Arbeit von Barrat und Arnold (1911). Seither sind zwar noch einige histologische Beiträge zu der Frage veröffentlicht worden — sie behandeln sowohl die Röntgen-, wie die γ-Strahlenwirkung auf den Hoden. — Aber diese Arbeiten (vgl. Literaturverzeichnis) haben entweder keine wesentliche weitere Förderung der Erkenntnis gebracht, oder sie sind, wie die wichtige Arbeit von Mohr (1919) bis in die jüngste Gegenwart so gut wie unbekannt geblieben, so daß sie jedenfalls keinen Einfluß auf die allgemeinen Anschauungen über dies Gebiet ausgeübt haben, und diese bisher nach wie vor — in Deutschland wenigstens — sich auf die Arbeiten von Kyrle und noch mehr von Simmonds stützten.

[2]) Von uns gesperrt.

längerer Zeit histologisch nachweisbar sind". „Frühveränderungen in Gestalt von Pyknose und Kernzerfall haben wir an Hoden niemals finden können." Auch die Arbeit von Kyrle bringt in dieser Hinsicht außerordentlich wenig. So erfahren wir aus ihr eigentlich nichts Bestimmtes über das Verhalten der Spermiogonien der Röntgenenergie gegenüber: „Ganz bestimmte Angaben über die einzelnen Phasen des Degenerationsprozesses der Spermatogonien zu machen, ist unmöglich: unter den vielen Degenerationsprodukten im Kanälchen erscheint es ausgeschlossen, zu entscheiden, dieses Gebilde entsteht aus zugrunde gehenden Spermatogonien, oder hier liegt eine Entwicklungsphase geschädigter Spermatogonien vor; man wird mit der Annahme nicht fehlgehen, daß die Zerstörungserscheinungen an den verschiedenen Arten der Samenzellen ziemlich übereinstimmen . . ." Kyrle beschränkt sich auf die Feststellung, daß im Endeffekt, wenn der bekannte Zustand erreicht ist, auf dem sich nur noch Sertolizellen (Se) in den Samenkanälchen befinden, daß dann auch keine Spermiogonien mehr sich nachweisen lassen. „Spermatogonien lassen sich zwischen den etwas verlängerten Sertolizellen nirgends finden; **das berechtigt zur Annahme, daß auch sie durch die Strahlenwirkung zerstört wurden**"[1]). Soweit Kyrle überhaupt auf die Histogenese der Röntgenatrophie eingeht, gibt er an, daß zuerst die Spermiden und später erst die Spermiozyten geschädigt werden. Gleichzeitig legt er großes Gewicht auf das Vorkommen von unter anderem durch das Zusammenfließen degenerierender Spermiden entstandenen eigentümlichen Riesenzellen. Damit wird der Eindruck erweckt, als ob die Röntgenatrophie in ihrem Verlaufe den übrigen Formen der Hodenatrophie wie sie z. B. infolge von Lageveränderungen, mechanischen Schädigungen aller Art und nach Unterbindung des Samenleiters auftreten, vollkommen gleiche. Denn für all diese Formen der Hodenatrophie ist charakteristisch, daß die Leerung der Kanälchen unter Desquamation des Samenepithels und Riesenzellbildung und unter massenhaftem nekrobiotischen Zerfall von Samenepithel erfolgt, wobei die Spermiden (Spd.) jeweils den Anfang machen, später erst die Spermiozyten (Spc.) und ganz zuletzt erst die Spermiogonien (Spg.) folgen (vgl. dazu Schinz und Slotopolsky 1924). Vor eine um so größere Überraschung sieht sich derjenige gestellt, der dann aus den Arbeiten der Regaudschen Schule (Regaud 1908, Blanc 1906) erfährt, daß nach den Ergebnissen dieser Autoren der Prozeß bei der Röntgenatrophie auch ganz anders verlaufen kann, indem die Spermiogonien zuerst der Degeneration verfallen, und nur sie allein eigentlich zugrunde gehen, während die übrigen Kategorien des Samenepithels sich im ganzen weiter entwickeln und ihr normales Ziel, die Umwandlung in Spermien (Sp.), erreichen. Die Leerung der Samenkanälchen würde also in solchen Fällen nicht durch einen massenhaften nekrobiotischen Zerfall des Samenepithels, sondern lediglich dadurch erfolgen, daß infolge des isolierten Unterganges der Spermiogonien der Nachschub ausbleibt, der normalerweise im Hoden immer vorhanden ist.

Als wir vor einiger Zeit eine systematische Untersuchung über die Histologie und Histogenese der hypobiotischen Prozesse am Hoden — Hodenatrophie und Hodennekrose — anstellten (Schinz und Slotopolsky 1924), sahen wir uns demgemäß vor die Frage gestellt, ob die Röntgenatrophie des Hodens eine Sonderstellung einnehme und anderseits, worauf der Widerspruch zwischen den Schilderungen Kyrles und Regauds über den typischen Verlauf der Röntgenatrophie beruhe. Eine Andeutung in dieser Hinsicht macht bereits die Regaudsche Schule selber (z. B. Blanc 1906), indem sie betont, daß der von ihr beschriebene Ablauf der Erscheinungen nur nach Anwendung mäßiger Dosen eintrete, und daß stärkere Dosen das ganze Samenepithel zerstören können. Uns

[1]) Von uns gesperrt.

reizte es, durch eigene Nachforschung uns von der Richtigkeit dieser Auffassung zu überzeugen, die uns allerdings von vornherein bereits sehr wahrscheinlich schien. Die Frage war für uns aus einem bestimmten Grunde von besonderem Interesse: Wir sind nämlich der Ansicht, daß die Empfindlichkeit der lebenden Substanz gegenüber der Röntgenenergie sich mit der allgemeinen Sensibilität der lebenden Substanz gegenüber Reizen schlechthin deckt (Schinz 1924), insbesondere sehen wir in der Ermittlung der Röntgenempfindlichkeit der einzelnen Kategorien des Samenepithels ein Mittel zur Feststellung ihrer wahren Empfindlichkeit überhaupt, weil die Röntgenstrahlen unmittelbar auf das Parenchym einwirken, und weil sie weiterhin alle Partien desselben, konkret gesprochen, sämtliche Kategorien des Samenepithels in den Samenkanälchen des Hodens gleichzeitig und mit gleicher Intensität treffen, so daß sich aus dem verschiedenen Verhalten dieser einzelnen Kategorien nach Röntgenbestrahlung ein sicherer Schluß auf ihre verschiedene Empfindlichkeit ziehen läßt. Im Gegensatz dazu liegt die Situation bei den übrigen Formen der Hodenatrophie, wie wir sie teilweise in unserer oben erwähnten Arbeit studiert haben, durchaus anders. Hier beruht die Atrophie zumeist auf Ernährungsstörungen, oder es wirken solche wenigstens bei ihrem Zustandekommen mit. Es ist aber klar, daß die verschiedenen Kategorien des Samenepithels von einer Ernährungsstörung bestimmten Grades, je nach ihrer Lagerung im Kanälchen in ganz verschiedenem Grade betroffen werden, am stärksten jeweils die von der Membrana propria am entferntesten liegenden Spermiden, am schwächsten die ihr unmittelbar aufsitzenden Spermiogonien. Daher beweist die typische Reihenfolge der nekrobiotischen Vorgänge bei diesen Formen der Hodenatrophie — Beginn der Degeneration an den Spermiden, langsames Weiterschreiten über die Spermiozyten bis zu den Spermiogonien, die zuletzt daran kommen — an sich nichts für eine verschiedene Empfindlichkeit der verschiedenen Kategorien des Samenepithels, und so stellt die Röntgenbestrahlung ein ausgezeichnetes Experiment dar, um diese Empfindlichkeitsskala, falls eine solche besteht, zu ermitteln.

Aus einem weiteren Grunde ist es nicht unwichtig, die histogenetischen Vorgänge genau zu studieren, die zu dem schließlichen Endeffekt bei der Röntgenatrophie hinleiten, weil es natürlich für die Wirkungen auf die Nachbarschaft, zunächst einmal auf das Zwischengewebe, dann aber auch auf den Gesamtorganismus nicht gleichgültig ist, ob bei der typischen Röntgenatrophie, wie bei den anderen Formen der Hodenatrophie die Leerung der Samenkanälchen durch einen massenhaften nekrobiotischen Zerfall von Samenepithel, oder lediglich dadurch zustande kommt, daß der Nachschub von den Spermiogonien aus unterbleibt. Heutzutage, wo Röntgenbestrahlungen des Hodens sogar zu „Verjüngungszwecken“ und bei Störungen im Bereiche der sekundären Geschlechtsmerkmale als Heilmittel vorgeschlagen werden (z. B. Steindl 1924), bietet diese Frage sogar ein praktisch-medizinisches Interesse.

Von praktisch-ärztlichem Interesse ist heute auch das Verhalten der Zwischenzellen bei der Röntgenatrophie des Hodens. Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Hoden spielt ja eine gewisse Rolle in dem Kampfe um die Pubertätsdrüsenlehre. Auch die Röntgenstrahlen sollten ja angeblich dazu dienen, eine „isolierte Pubertätsdrüse“ zu erzeugen, bzw. „eine Wucherung der Pubertätsdrüse“ hervorzurufen. Vorstellungen namentlich letzterer Art spielen heutzutage bei den oben genannten praktisch-medizinischen Indikationsstellungen eine maßgebende Rolle. Abgesehen davon ist das Studium des Verhaltens der Zwischenzellen bei der Röntgenatrophie des Hodens für die Aufklärung der physiologischen Bedeutung dieser heute so eifrig studierten Elemente überhaupt von Wert, und es lassen sich aus ihm, wie die vorliegende Arbeit zeigen wird, manche Schlüsse auch für die „Theorie der Zwischenzellen“ ableiten. Während bezüglich der Vorgänge am Samenepithel vor allem der Widerspruch zwischen den maßgebenden deutschen

und französischen Autoren eine nochmalige genaue Untersuchung notwendig machte, ist das Verhalten der Zwischenzellen bei der Röntgenatrophie des Hodens bisher überhaupt noch nicht exakt untersucht worden. Die Mehrzahl der Autoren, z. B. Bergonié und Tribondeau (1906) und Simmonds (1909/10), behauptet, daß die Zwischenzellen bei der Röntgenatrophie des Hodens eine absolute Vermehrung erfahren. Regaud (Regaud und Nogier 1911) bezweifelt das und hält diese Vermehrung für eine lediglich relative, durch die Schrumpfung der Samenkanälchen vorgetäuschte. Aber ebensowenig wie die anderen für ihre Anschauung, so hat er für die seinige wirklich einen Beweis erbracht. Ein solcher läßt sich nämlich nur führen, wenn man die absoluten Mengenverhältnisse des generativen und des intergenerativen Anteils im normalen und im röntgenatrophischen Hoden nach der von Stieve (1919—1923) angegebenen Methode bestimmt. Die Prüfung des Verhaltens der Zwischenzellen nach der Methode von Stieve haben wir demgemäß als unsere zweite Aufgabe beim Studium der Röntgenatrophie des Hodens betrachtet.

Immer wieder, und namentlich in letzter Zeit hat Regaud darauf hingewiesen, daß die Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Hoden als ein Paradigma für ihre Einwirkung auf die bösartigen Geschwülste, die mit dem Testikel unter anderem „unendliche" Vermehrungsfähigkeit der sie aufbauenden Elemente teilen, gelten kann. Und er hat z. B. auch seine Methode der Dauerbestrahlung mit geringen Dosen (natürlich von Radium) auf Versuche am Hoden basiert (Regaud 1922). In der Tat bietet das Studium der Röntgenwirkungen am Hoden auch vom strahlenbiologischen und strahlentherapeutischen Standpunkt aus wertvolle Erkenntnismöglichkeiten. Eine große Rolle spielt in der Strahlenbiologie der Gegenwart die Frage der besonderen Sensibilität der Zelle im Stadium der Mitose. Sie wird allgemein als eine besonders erhöhte betrachtet. (vgl. Schinz 1924). Nun aber ist Mohr (1919) in einer ausgezeichneten, viele Jahre in Vergessenheit gewesenen Untersuchung über den Einfluß der Radiumbestrahlung auf den Hoden (bei Heuschrecken) zu dem Resultate gelangt, daß eine solche exquisite Empfindlichkeit der Mitosen im Hoden nicht nachzuweisen ist und daß hier ein Teil der ruhenden Zellen — nämlich die jüngsten Spermiozyten — eine bedeutend größere Radiosensibilität aufweise, als die Reifeteilungen. Daraus würde die merkwürdige Situation resultieren, daß, während die Geschlechtszellen zu den strahlenempfindlichsten Zellarten überhaupt gehören, und die Zellen im allgemeinen während der Teilung am strahlenempfindlichsten sind, gerade die Teilungen der Geschlechtszellen relativ strahlenunempfindlich sich verhalten. Im Gegensatz dazu sind die Mitosen nach Regaud auch im Hoden das Allerempfindlichste bei Bestrahlung. Auch auf diesen Widerspruch beschlossen wir bei unseren Untersuchungen nebenbei unser Augenmerk zu richten, wenn wir uns auch darüber klar waren, daß uns das zur Verfügung stehende Objekt, nämlich ein Säugetierhoden — unsere Versuche haben wir an insgesamt 66 Kaninchenhoden ausgeführt — für eine definitive Entscheidung der Frage nicht sehr geeignet ist.

Schließlich haben wir bei unseren Untersuchungen auf noch einen Punkt unser Augenmerk gerichtet. Nach der unseres Wissens einstimmigen Ansicht der auf diesem Gebiete tätig gewesenen Autoren — wir nennen insbesondere Regaud (1908), Villemin (1906) und Simmonds (1909/10) — ist eine Regeneration nur möglich, wenn nicht alle Spermiogonien zugrunde gehen, sondern ein Teil sich erhält. Dieser gewinnt dann später seine Vermehrungsfähigkeit wieder und restituiert auf diese Weise dann wieder das Samenepithel. Der Vorgang ist entsprechend dieser Auffassung nicht als wirkliche, echte Regeneration, sondern nur als eine Repopulation zu bezeichnen. Im Gegensatz zu dieser Anschauung würde die Auffassung stehen, daß auch nach Untergang sämtlicher Spermiogonien eine Restitution dadurch möglich wäre, daß die Sertolizellen sich teil-

weise entdifferenzieren und Spermiogonien aus sich hervorgehen lassen, von denen dann die Repopulation ausgeht. Die Entdifferenzierung der Sertolizellen und die Neubildung von Spermiogonien auf diese Art würde dann einen echten Regenerationsvorgang repräsentieren. Für die Restitution nach der Röntgenatrophie des Hodens ist ein solcher Vorgang bisher nie behauptet worden. Nur Kyrle (1911) zieht ihn wenigstens in Erwägung. Die Annahme einer Regeneration von den Sertolizellen aus erscheint ihm allerdings sehr „gewagt". Im Gegensatz dazu machen neuerdings Stieve (1921—1923) und Romeis (1921) zwischen Sertolizellen und Spermiogonien keinen prinzipiellen Unterschied, halten die Sertolizellen für indifferente Elemente und beschreiben in von ihnen beobachteten Fällen von Restitution des Samenepithels nach vorangegangener Atrophie — Alkoholatrophie, Atrophie nach Steinachunterbindung — eine Regeneration des Samenepithels von den Sertolizellen aus, für die sie allerdings die Bezeichnung Sertolizellen ablehnen. Morphologische Veränderungen an den Sertolizellen, die wie eine Entdifferenzierung aussehen, und die dazu führen, daß die betreffenden Sertolizellen äußerlich wenigstens wieder das Bild der indifferenten Samenzellen darbieten, hat seinerzeit Bouin (1897) bei Hodenatrophien beobachtet, und auch wir haben seinerzeit entsprechende Beobachtungen machen können (Schinz und Slotopolsky 1924). Wie weit diese morphologischen Erscheinungen auch einen realen physiologischen Hintergrund haben, wagten wir damals nicht zu entscheiden. Es war von vornherein gegeben, bei dem Studium der Röntgenatrophie und der Restitution des Hodens nach Röntgenbestrahlung, dieser Frage näherzutreten.

II. Der Verlauf der Röntgenatrophie des Hodens.

1. Die Früheffekte.

Unsere Untersuchungen beziehen sich auf 33 mit verschiedenen Dosen bestrahlte Kaninchen[1]). Davon wurde die überwiegende Mehrzahl lediglich einer einmaligen Bestrahlung unterworfen; nur bei einem kleinen Teile der Versuchstiere wurde zum Vergleiche eine mehrfache Bestrahlung vorgenommen. Bestrahlt wurde die Regio inguinalis und scrotalis von der Bauchseite her, so daß beide Hoden gleichmäßig von den Strahlen getroffen wurden. In verschiedenen Intervallen wurden nun die einzelnen Testikel, insgesamt also 66, exstirpiert und histologisch untersucht. Die Befunde bei der histologischen Untersuchung unmittelbar nach der Bestrahlung, $^1/_2$ Stunde später, 2 Stunden, $2^1/_2$ Stunden, 3 Stunden, 4 Stunden, 2 Tage, $2^1/_2$ Tage, 3 Tage, 4 und 5 Tage nach der Röntgenbestrahlung, fassen wir als Früheffekte in diesem Abschnitte zusammen.

Bezüglich der von uns verwandten Terminologie bemerken wir: Der Hoden besteht aus einem generativen und aus einem intergenerativen Anteil. Der intergenerative Anteil enthält bei unserem Versuchstier, dem Kaninchen, unter normalen Verhältnissen nur sehr wenig, fast überhaupt kein fibrilläres Bindegewebe und fällt praktisch mit den Zwischenzellen (Leydigschen Zellen) zusammen. Der generative Anteil besteht aus den Samenkanälchen, von uns in dieser Arbeit gelegentlich auch schlechtweg als Kanälchen oder Tubuli bezeichnet. Die Samenkanälchen bestehen aus einer „Wandung", der bindegewebigen Membrana propria und aus einem „Wandbelag". Dieser Wandbelag

[1]) Herr Prof. Dr. P. Clairmont hat uns in liberalster Weise das Versuchsmaterial und die technischen Hilfsmittel und Arbeitskräfte der chirurgischen Universitäts-Klinik Zürich zur Verfügung gestellt. Herr Prof. Dr. W. Felix räumte uns bereitwilligst einen Arbeitsplatz am dortigen anatomischen Institute ein. Beiden Herren sei auch an dieser Stelle unser verbindlichster Dank ausgesprochen.

enthält die Sertolizellen, das „Samenepithel" und die Spermien. Sertolizellen und Spermien gehören also unserer Terminologie nach nicht zum Samenepithel, da die Sertolizellen den abortiven Teil des generativen Anteils darstellen, das Samenepithel aber sein evolutiver Teil ist, die Spermien aber, als Elemente von ganz eigenartiger Differenzierung, die normalerweise dazu bestimmt sind, sich vom Wandbelag loszulösen, nicht gut zum „Samenepithel" gerechnet werden können. Dieses besteht aus den Spermiogonien, den Spermiozyten (in der Literatur auch oft als Spermiozyten I. Ordnung bezeichnet), den Präspermiden (in der Literatur oft Spermiozyten II. Ordnung genannt) und den Spermiden. Die Präspermiden sind als nur ganz kurzdauerndes Zwischenstadium zwischen den beiden Reifeteilungen in unserem Zusammenhange von geringer Bedeutung. Wenn wir daher von den verschiedenen Kategorien des Samenepithels sprechen, so meinen wir damit in der Regel die Spermiogonien, die Spermiozyten und die Spermiden. Als ein besonderes, offensichtlich recht lange andauerndes Stadium der Spermiozyten ist die Synapsis von Bedeutung. Hodenatrophie nennen wir alle Zustände, bei denen der Wandbelag der Samenkanälchen eine abnorme Reduktion aufweist. Bei demjenigen — häufig vorkommenden — Typus der Hodenatrophie, bei dem durch eine aufeinander folgende nekrobiotische Degeneration der Spermiden, Spermiozyten und Spermiogonien die Leerung der Kanälchen erfolgt, unterscheiden wir 5 Grade des Atrophierungsprozesses: Atrophie 1. Grades: Spermiden entwickeln sich nicht mehr weiter, bilden abnorme Riesenzellen. Atrophie 2. Grades: Spermiden verschwunden, Wandbelag nur noch aus Sertolizellen, Spermiogonien und Spermiozyten. Atrophie 3. Grades: Spermiozyten zugrunde gegangen, Wandbelag nur noch aus Sertolizellen und Spermiogonien. Atrophie 4. Grades: Das ganze Samenepithel zugrunde gegangen, Wandbelag nur noch aus Sertolizellen. Atrophie 5. Grades: Auch Sertolizellen zerstört, kein Wandbelag mehr, unter Verdickung und hyaliner Entartung der Membrana propria Obliteration des Kanälchens — Spermatoangitis obliterans oder Fibrosis testis. Über die Terminologie, über den Bau des normalen und des atrophischen Hodens, vgl. man im übrigen unsere Beiträge zur experimentellen Pathologie des Hodens (Schinz und Slotopolsky 1924).

Das Resultat bei der Untersuchung unmittelbar nach der Bestrahlung (Prot. Nr. 28, r.) und $^1/_2$ Stunde später (Prot. Nr. 12, r.) — die verwandten Dosen waren in diesen Fällen 2 H.E.D. und $6^1/_2$ H.E.D. - war hinsichtlich irgendwelcher sichtbaren morphologischen Veränderungen vollkommen negativ. Wahrnehmbare Veränderungen haben wir erst bei Untersuchung einige Stunden nach der Bestrahlung gefunden. Zwar nach einer Bestrahlung mit 2 H.E.D. ist auch nach 3 Stunden (Prot. Nr. 28, l.) im histologischen Bilde noch nichts Auffallendes zu erkennen, und selbst wenn 15 H.E.D. appliziert worden waren, kann der sichtbare Effekt nach 2 Stunden noch gleich Null sein (Prot. Nr. 21, r.).

In einem anderen Falle waren jedoch 2 Stunden nach Beendigung einer Bestrahlung, bei der 15 H.E.D. appliziert worden waren (Prot. Nr. 27r), sehr interessante Veränderungen am Hodenparenchym zu konstatieren. Allerdings muß man schon recht starke Vergrößerungen, am besten die Immersion zu Hilfe nehmen, um diese Veränderungen zu erkennen. Es finden sich nämlich hier bei im übrigen vollkommen intaktem Samenepithel nekrobiotische Veränderungen an einem Teile der Spermiogonien und ferner nekrotisierende Mitosen. Die Spermiogonien sind klein, sie liegen basal, eingekeilt zwischen die großen durch ihr mächtiges Chromatingerüst bzw. durch ihre im Zustande der Synapsis intensiv gefärbten kompakten Kerne imponierenden Spermiozyten einerseits und die Sertolizellen und die Membrana propria anderseits. Man muß seine Aufmerksamkeit auf die Spermiogonien richten, um Veränderungen an den Samenkanälchen feststellen zu können. Aber diese sind dann im übrigen einwandfrei wahrzunehmen. Für die Abbildung (vgl. Abb. 1) haben wir einen besonders eklatanten Fall gewählt. Neben zahlreichen unveränderten Spermiogonien findet man eine beträchtliche Anzahl, deren Protoplasma sich durch eine intensive Azidophilie auszeichnet, also in Hämatoxylin-Eosinpräparaten intensiv rot gefärbt ist. Wir möchten diesen Zustand als Pyknose des Protoplasmas entsprechend den analogen Erscheinungen am Kerne nekrotisierender Zellen bezeichnen. Auch die Kerne dieser Spermiogonien zeigen bisweilen Pyknose, häufiger Wandhyperchromatose und Karyorrhexis. Meistens scheinen sie aber durch Chromatolyse zugrunde zu gehen, so daß die Spermiogonien-

leichen sich im Gegensatze zu den später zu beschreibenden Spermiozytenleichen meist dadurch auszeichnen, daß sie nur noch den abgestorbenen Zelleib erkennen lassen und von dem Zellkerne nichts mehr zu sehen ist.

Wie in jedem Testikel, so sind auch in dem eben beschriebenen zahlreiche Mitosen insbesondere im Bereiche der Spermiozyten wahrzunehmen, d. h. die Reifeteilungen. Einen Teil derselben finden wir nun, wie gesagt, nekrotisch (vgl. Kapitel VII). Es ist nicht leicht, darüber sind sich wohl alle Autoren einig, bei Vorhandensein zahlreicher und kleiner Chromosomen und angesichts der möglichen Beeinflussung durch die histotechnischen Prozeduren, pathologische Veränderungen an Mitosen nachzuweisen. Auch bei Durchsicht unserer Präparate von vollständig normalen Kaninchenhoden finden

Abb. 1. Früheffekt der Röntgenschädigung aus einem einmal mit 15 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 27, r.) Haemat. Eosin, Zeiß, OK. 5 × Ap. 90. Spermiden und Spermiozyten intakt, Spermiogonien in Nekrose. Zum Teil sind die Leichen schon resorbiert. Links im Bilde eine Spermiogonie mit Wandhyperchromatose. Rechts noch einige leidlich intakte Spermiogonien, ebenso unten. (Spg. = Spermiogonien, Spgl. = Spermiogonienleichen.)

wir die Mitosen vielfach klumpig und die einzelnen Chromosomen in ihnen nicht immer gut voneinander gesondert. Daß die intensive Färbbarkeit des Chromatins, die sonst als Pyknose ein Symptom der Degeneration ist, hier nicht als solches verwertet werden kann, versteht sich ja von selber. Aber wir glaubten eine auffallend starke Verklumpung des Chromatins im Bereiche von Reifeteilungsstadien als pathologisch deuten zu dürfen, wenn gleichzeitig — und darauf legten wir das Hauptgewicht — das Protoplasma jene intensive Azidophilie zeigte, die wir oben als Pyknose des Protoplasma bezeichnet haben. Eine andere Täuschungsmöglichkeit war jedoch dabei in Erwägung zu ziehen. Große, bei Hämatoxylin-Eosinfärbung intensiv rotgefärbte, mit z. B. 2 kompakten kleinen Kernresten versehene, im Bereiche der Spermiozyten liegende Zellen konnten womöglich auch zugrunde gegangene Spermiozytenriesenzellen sein, während wir sie als im Diasterstadium zugrunde gegangene Mitosen auffaßten. Wir glaubten diese Täuschungs-

möglichkeit dadurch ausschalten zu können, daß wir die Diagnose nekrotische Mitosen zunächst nur stellten, wenn dieselben inmitten einer Gruppe von Reifeteilungen lagen, die unverändert oder relativ wenig verändert waren, so daß sich ihre Natur mit Sicherheit erkennen ließ. Es sei noch hinzugefügt, daß in den beschriebenen nekrotischen Zellteilungsstadien auch das zugrunde gegangene Chromatin vielfach eine etwas rötliche Färbung aufweist, d. h. azidophil wird.

Viel ausgeprägter sind die beschriebenen Veränderungen, wenn bei vorausgegangener Applikation von 30 H.E.D. 4 Stunden nach der Bestrahlung (Prot. Nr. 18, l.) untersucht wird. Hier sind jetzt nicht nur Spermiogonienleichen in beträchtlicher Zahl zu finden, sondern bisweilen auch schon veränderte, nekrotisierende Spermiozyten und degenerierende Mitosen. Und fernerhin sieht man auf den Schnitten eine Desquamation des Samenepithels, d. h. seines „mobilen Teiles" (Spermiozyten und Spermiden) in das Lumen. Auch in dieser Erscheinung ist der Ausdruck eines nekrobiotischen Vorganges zu erblicken.

Untersucht man nun nach 3 Tagen, so haben nach Applikation von 15 H.E.D. (Prot. Nr. 14, r.) die Veränderungen keinen allzu großen Fortschritt gemacht. Zwar sind die Spermiogonien nunmehr zum größten Teile aus den Samenkanälchen verschwunden, aber im übrigen zeigen diese noch ein vollkommen normales Bild.

Wenn dagegen 30 H.E.D. appliziert worden sind, so sind nach $2^1/_2$ Tagen und noch mehr nach 3 Tagen bereits weitere erhebliche Veränderungen zu konstatieren (Prot. Nr. 18, r. und 26, r.). Es finden sich nur noch ganz wenige Spermiogonien. Die Spermiozyten sind zum größten Teile geschädigt, nur die Synapsisstadien scheinen durchwegs normal zu sein. Die Spermiozyten degenerieren zumeist unter einer Art Chromatolyse, so daß ihre Kerne Ähnlichkeit mit denen der Spermiden bekommen (vgl. Abb. 2). Vielfach zeigen sie auch Desquamation ins Lumen. In diesem Falle hat man auf den ersten Blick Mühe, zu erkennen, ob es sich um zugrunde gehende Spermiozyten oder um im Verlaufe der Nekrobiose aufgequollene Spermiden handelt. Eine Betrachtung der Spermiozyten, da, wo sie in loco degenerieren, ergibt aber, daß es sich auch bei diesen desquamierten Elementen um Spermiozyten handelt. Bei Untersuchung nach 3 Tagen (Prot. Nr. 26, r.) sind die Veränderungen an den Spermiozyten noch ausgeprägter. Man sieht sehr viele Spermiozytenleichen mit Pyknose oder Chromatolyse. Auch hier scheinen die Synapsen sämtlich unversehrt zu sein, dagegen sieht man neben normalen Reifeteilungsstadien auch viele nekrotisierte Mitosen. Solche kann man auch im Bereiche der desquamierten Massen antreffen. Die Desquamation nimmt zu, und sie betrifft unter Umständen auch allein die Spermiden, was uns zeigt, daß nunmehr die Degeneration auch diese Kategorie des Samenepithels ergriffen hat. Hierdurch kommt es stellenweise in den Kanälchen zu einem Bilde, das an eine Atrophie 2. Grades erinnert; an anderen Stellen, wo auch die Spermiozyten, sei es ins Lumen desquamiert wurden, sei es in loco zugrunde gegangen sind, bietet sich uns auch bereits ein einer Atrophie 3. Grades ähnliches Bild. Im Gegensatz dazu finden sich auch in den Schnitten hier und da Kanälchen, die eine merkwürdige Abweichung von der Norm insofern aufweisen, als sie zwar gut gefüllt sind, der Wandbelag aber ausschließlich aus Spermiden besteht. Wir wollen schon an dieser Stelle sagen, daß diese Erscheinung dadurch zustande kommt, daß nach dem Untergange der Spermiogonien durch die Bestrahlung in der seither verflossenen Zeit (3 Tage) die zur Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen Spermiozyten sich weiter entwickelt und sämtlich zu Spermiden umgebildet haben, während eine Neubildung von Spermiozyten von den Spermiogonien aus, wie sie unter normalen Verhältnissen gleichzeitig erfolgt wäre, natürlich unter den vorliegenden Umständen nicht mehr in Frage kam.

Untersucht man 5 Tage nach Applikation von 30 H.E.D. (Prot. Nr. 17, r.), so findet man den Wandbelag der Samenkanälchen meist nur noch aus Sertolizellen gebildet. Die

Spermiden und Spermiozyten sind nun sämtlich zugrunde gegangen, hier und da sieht man im Lumen der Kanälchen noch Reste von ihnen, gelegentlich auch noch durch das Zusammenfließen zugrunde gehender Spermiden entstandene Riesenzellen. Zellteilungen sind natürlich nicht mehr aufzufinden, gleichzeitig weisen die Samenkanälchen eine starke Schrumpfung und das Zwischengewebe eine starke relative Vermehrung auf.

Ganz anders entwickeln sich die Verhältnisse, wenn kleinere Dosen, z. B. 4 H.E.D. oder namentlich unter dieser Grenze stehende Dosen, z. B. 2 H.E.D., appliziert werden. Während wir ja bei Applikation von 15 H.E.D. bereits 2 Stunden nach der Bestrahlung unter Umständen eine teilweise Degeneration der Spermiogonien konstatieren konnten, findet sich 3 Stunden nach einer Bestrahlung mit 2 H.E.D. (Prot. Nr. 28, l.) an den Spermiogonien noch keine Veränderung, und während — jedenfalls wenn 30 H.E.D. appliziert werden — im Laufe der ersten 2—3 Tage nach der Bestrahlung der Degenerationsprozeß auch auf die Spermiozyten und Spermiden übergreift, finden wir 3 Tage nach einer Bestrahlung mit 4 H.E.D. (Prot. Nr. 3, r.) die Spermiden im ganzen intakt, nur höchst selten Riesenzellbildung in ihrem Bereiche, und die Degenerationserscheinungen an den Spermiozyten sind weniger ausgebreitet. Vor allem fehlt auch die nach Anwendung größerer Dosen zu diesem Zeitpunkte schon typische Desquamation. Fast sämtlich zerstört sind nur die Spermiogonien, während die anderen Kategorien des Samenepithels sich zum Teil — vielleicht selbst zum größeren Teile — sogar ruhig weiterentwickelt haben, was uns diejenigen, hier nicht seltenen Partien zeigen, in denen ein quantitativ, d. h. an Dicke durchaus normaler Wandbelag besteht, der sich aber ausschließlich aus Spermiden zusammensetzt. (Zur Erklärung dieser Erscheinung s. S. 457 ff.). Daß die Weiterentwicklung der Spermiozyten aber hier nicht durchwegs zu einem guten Ende führt — d. h. zur Ausbildung normaler Spermiden —, zeigt das Vorkommen von abnormen und von nekrotisierenden Mitosen.

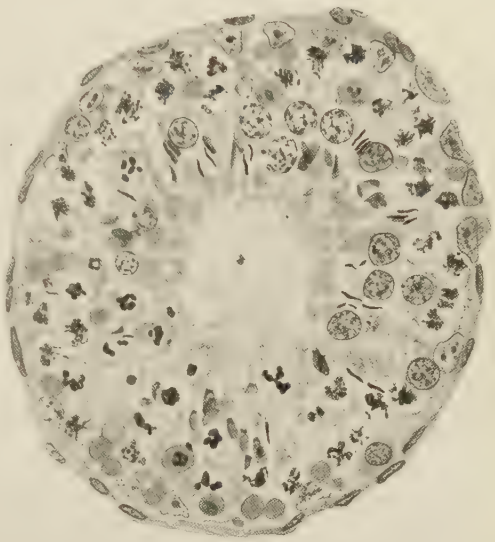


Abb. 2. Früheffekt der Röntgenschädigung aus einem einmal mit 30 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 18, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 × Ap. 90. An Stelle der sämtlich zugrunde gegangenen Spermiogonien sieht man Lücken zwischen den Sertolizellen. Die Spermiozyten sind teilweise bis auf die Membrana propria hinabgerückt. Spermiozyten bei dieser Dosis auch nekrobiotisch: Zum Teil Pyknose, zum Teil Karyorrhexis, zum Teil wohl degenerierende Mitosen.

Noch viel deutlicher wird der Unterschied im Früheffekte gegenüber der Einwirkung großer Dosen, wenn wir einen mit 2 H.E.D. bestrahlten Testikel 4 Tage nach der Bestrahlung betrachten (Prot. Nr. 1, r.). Während nach Applikation von 30 H.E.D. zu diesem Zeitpunkte der Wandbelag der Samenkanälchen in voller Degeneration und zu einem großen Teile bereits bis auf die Sertolizellen reduziert ist, und während namentlich hier zu diesem Zeitpunkte ein ausgedehnter Zerfall von Samenepithelien im Hoden stattfindet (Prot. Nr. 26, r. und 17, r.), finden wir nach Applikation von 2 H.E.D. zu dem gleichen Zeitpunkte ein ganz anderes Bild. Die Tubuli sind alle prall gefüllt und befinden sich in voller Spermiogenese. Schöne normale Reifeteilungen sind mühelos in großer

Zahl zu finden. Ein oberflächlicher Untersucher würde einem solchen Hoden sogar überhaupt nichts ansehen. In Wirklichkeit zeigt dieser Testikel aber eine fundamentale Veränderung. Es sind nämlich fast sämtliche Spermiogonien aus ihm verschwunden. Die Degeneration der Spermiogonien in den ersten Tagen nach der Bestrahlung haben wir auf den vorigen Seiten auf Grund unserer Beobachtungen über die Einwirkung größerer Dosen — von 4 H.E.D. ab — geschildert. Der Testikel, den wir jetzt beschreiben, lehrt uns, daß 4 Tage nach der Bestrahlung, auch wenn nur 2 H.E.D. appliziert wurden, die Spermiogonien unter allen Umständen bereits zum größten Teile verschwunden sind, oder besser ausgedrückt, ihren Degenerationsprozeß abgeschlossen haben, denn die wenigen Spermiogonien, die jetzt noch erhalten sind, bleiben es auch in der Folgezeit und degenerieren nur, wenn der Testikel dauernd atrophisch bleibt und nicht wieder eine Restitution erfährt. Nach Bestrahlung mit 2 H.E.D. kommt es aber immer zu einer solchen.

Der Zustand, bei dem der Wandbelag der Samenkanälchen nur noch aus Sertolizellen besteht, muß im allgemeinen als ein Spätbefund bei der Röntgenatrophie bezeichnet werden, und trotzdem haben wir ihn hier bereits unter den Frühbefunden aufgeführt, nämlich als eine Erscheinung, die man 5 Tage nach einer Bestrahlung mit 30 H.E.D. beobachten kann. Es versteht sich, daß bei Anwendung so großer Dosen eben die Degenerationsprozesse sich so rasch abspielen, daß hier Frühbefunde und Spätbefunde in mancher Hinsicht zusammenfallen.

Noch viel ausgesprochener ist das natürlich, wenn noch größere Dosen, z. B. 50 H.E.D. angewandt werden. Während nach Applikation von Dosen von ca. 1 bis 4 H.E.D. nach 2 Tagen nur die Spermiogonien der Degeneration verfallen und sonst noch keine Veränderungen im Testikel wahrzunehmen sind, so hat bei Applikation größerer Dosen um 30 H.E.D. herum in dieser Zeit der Degenerationsprozeß auch schon die Spermiozyten erreicht. Nach Applikation von 50 H.E.D. aber finden wir unter Umständen zu diesem Zeitpunkte bereits das ganze Hodenparenchym nekrotisch. Wir haben diese unerhört hohe Dosis auch mit der Absicht appliziert, eine Hodennekrose zu erzeugen, denn wir waren überzeugt, daß zwischen Hodenatrophie und Hodennekrose nur quantitative Unterschiede hinsichtlich der auslösenden Reize bestehen (s. Schinz und Slotopolsky, 1924), aber wir waren dennoch sehr überrascht, als wir diesen Effekt so ungemein rasch auftreten sahen. Äußerlich, makroskopisch betrachtet, erschien der betreffende Testikel (Prot. Nr. 33, r.) normal, jedenfalls war er noch von normaler Größe. Das histologische Bild zeigt aber, wie gesagt, eine ausgesprochene, zum Teil bereits komplette Nekrose (vgl. Abb. 3). Der Wandbelag der Samenkanälchen ist durchwegs aufgelockert, so daß seine Elemente das Lumen zumeist voll ausfüllen. Diese verschiedenen Elemente sind sämtlich in loco „erstarrt". Protoplasma und Kerne sind durchwegs pyknotisch. Alle Kategorien des Samenepithels zeigen in dieser Hinsicht das gleiche Bild. Auffallend ist, daß viele Kanälchen nur abgestorbene Spermiden enthalten, die hier bis auf die Membrana propria reichen. Dieser Befund erinnert uns an eine seinerzeit von uns bei der Untersuchung der hämorrhagischen Nekrose des Hodens gemachte Beobachtung (s. Schinz und Slotopolsky, 1924). Auch dort scheint offenbar im Beginne des Prozesses vielfach eine Beschleunigung der Reifeteilung einzutreten, was man annehmen muß, um das beschriebene Bild zu erklären. Auch der intergenerative Anteil ist nicht mehr völlig normal, wohl ist die Membrana propria der Samenkanälchen und sind die Kerne der Zwischenzellen intakt, aber die Zelleiber der Zwischenzellen sind merkwürdig schwach färbbar. Die Zwischenzellen scheinen demgemäß auch schon in Degeneration begriffen zu sein. Bezüglich der Auffassung und Erklärung des beschriebenen Bildes im allgemeinen verweisen wir auf unsere Darstellung der Hodennekrose in unseren Beiträgen zur experimentellen Pathologie des Hodens (Schinz und Slotopolsky, 1924).

Die Untersuchung eines mit 50 H.E.D. bestrahlten Testikels 4 Tage nach der Bestrahlung (Kontr.-Nr. 33, l.) bot eine weitere Überraschung insofern, als hier Veränderungen von etwas geringerer Schwere, vor allem aber von ganz anderer Art vorlagen. Nur

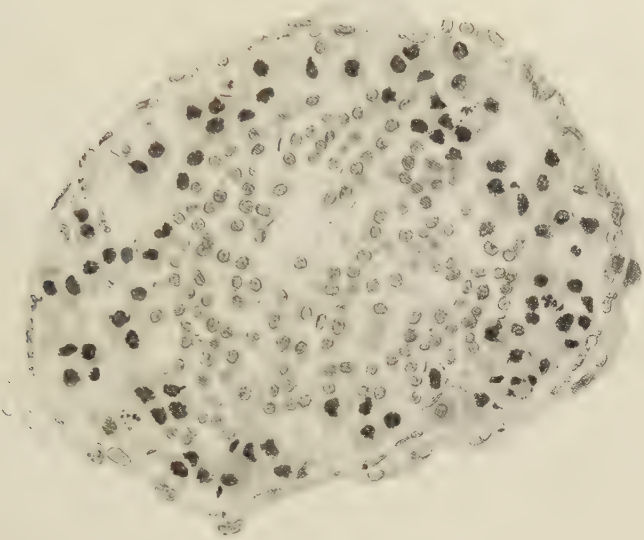


Abb. 3. Röntgenkoagulationsnekrose des Hodens aus einem einmal mit 50 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 33, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 90. Lockerung des Epithelverbandes und rasche Nekrobiosen in loco. Sertolizellen vereinzelt noch nachweisbar, Spermiogonienleichen bereits resorbiert. Schwerste Pyknose der Spermiozyten. Auch die Spermidenkerne sind pyknotisch, nur infolge ihrer Chromatinarmut nicht so auffällig.

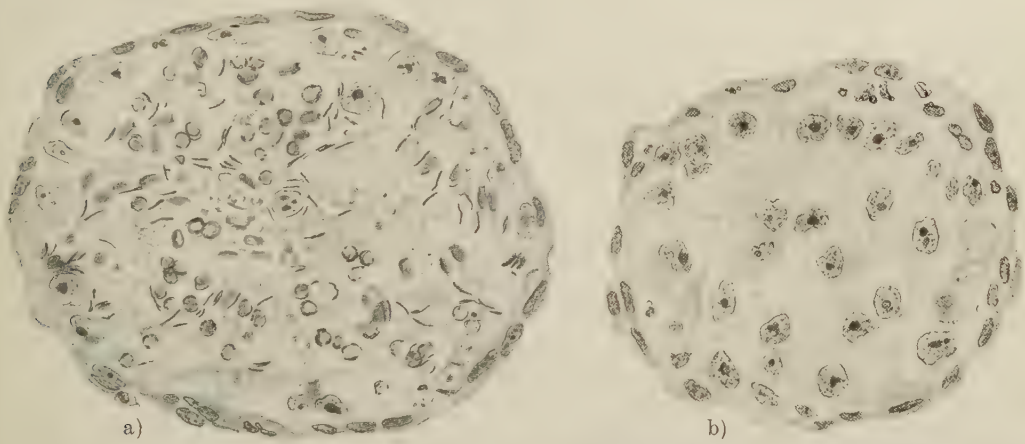


Abb. 4. Schwerste Röntgenatrophie mit gleichzeitiger Kolliquationsnekrose aus einem einmal mit 50 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 33, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 90. Bei a noch Reste desquamierter Spermidenmassen mit Wandhyperchromatose, bei b auch diese verschwunden. Die Sertolikerne scheinbar wie durcheinander geworfen im Lumen verstreut.

teilweise zeigen die Samenkanälchen auch hier das bei dem rechten Hoden desselben Versuchstieres beschriebene Bild der Koagulationsnekrose. Zum größten Teile weisen sie ein Bild auf, das entweder einen sehr schweren Grad von Atrophie oder aber, was uns wahrscheinlicher vorkommt, eine Kolliquationsnekrose darstellt (vgl. Abb. 4).

Die Samenkanälchen sind hier mit einer geronnenen strukturlosen Masse erfüllt, die im allgemeinen keinerlei zellige Bestandteile, keine Pyknosen von Kernen oder Zellleibern, keine Kernreste, keine Kernschatten erkennen läßt, kurz, von dem ganzen Samenepithel ist überhaupt nichts zu sehen, dagegen liegen in dieser strukturlosen Masse unverkennbare Sertolikerne in stattlicher Anzahl zerstreut herum. Gegenüber dem Bilde bei schwerer Hodenatrophie nehmen sie nur selten eine periphere Lage ein und zeigen auch deutliche Anzeichen der Degeneration. Daneben findet man in den Kanälchen hier und da auch noch einmal einige erhaltene Spermienköpfe — es ist ja von der Hodennekrose bekannt, daß sich Spermienköpfe noch ungemein lange erhalten können (s. Schinz und Slotopolsky, 1924). Da im allgemeinen keine Erscheinungen von Desquamation nachweisbar sind und diese doch eine ungeheure sein müßte, wenn das Bild in 4 Tagen auf dem Wege der Atrophie, d. h. der Leerung der Kanälchen zustande gekommen wäre, so halten wir uns zu unserer Deutung des Bildes als Kolliquationsnekrose für berechtigt. Immerhin sind mit diesem Prozeß zweifellos auch nekrobiotische Vorgänge im Sinne der Hodenatrophie verknüpft, indem wir in einem Teile der Kanälchen doch Überreste vakuolig degenerierter Spermidenkerne und auch von anderen degenerierenden Elementen des Samenepithels sehen. Die Kanälchen weisen eine außerordentliche Schrumpfung auf. Die Membrana propria ist jeweils intakt. Ebenso intakt sind die Kerne der Zwischenzellen, während ihre Leiber durch eine auffallend schwache Färbbarkeit eine beginnende Degeneration auch der Zwischenzellen verraten.

Im ganzen ist festzustellen: eine Bestrahlung mit 50 H.E.D. führt in wenigen (2—4) Tagen zu schwerster kompletter Hodenatrophie, kombiniert mit Kolliquations- und Koagulationsnekrose, wobei aber den nekrotisierenden Vorgängen der Vorrang vor den atrophierenden zukommt. (Über die Begriffe Hodenatrophie und Hodennekrose vgl. Schinz und Slotopolsky, 1924.)

Das Interesse für die Früheffekte der Röntgenwirkung auf den Hoden veranlaßte uns seinerzeit bei Gelegenheit einiger doppelseitiger Kastrationen am Menschen[1]) 12 Stunden, 18 Stunden, 36 Stunden und 90 Stunden vor der Operation den einen der beiden Testikel einer Röntgenbestrahlung zu unterwerfen, wobei uns nachher jeweils der unbestrahlte Hoden als Testobjekt dienen konnte. Die Dosis war in 3 Fällen je 100 % der H.E.D. einmal 150 % der H.E.D. Sie genügte, wie wir aus einer seither von uns vorgenommenen Röntgensterilisation wissen, um eine vollständige, ja wahrscheinlich sogar um eine dauernde Azoospermie zu erzeugen (auch in diesem Falle haben wir nicht mehr als eine einmalige Bestrahlung mit 100 % der H.E.D. vorgenommen). Das Resultat ist um so interessanter. Weniger überrascht waren wir davon, daß wir 12, 18 und 36 Stunden nach der Bestrahlung keinerlei Veränderungen an den betreffenden Testikeln wahrnehmen konnten. Das hatten wir auch nach unseren Kaninchenversuchen zu erwarten. Aber es hat uns doch etwas gewundert, daß auch 90 Stunden, d. h. 4 Tage nach der Bestrahlung, noch gar kein morphologischer Effekt derselben sichtbar ist. 4 Tage nach Applikation von 2 H.E.D. finden wir beim Kaninchen die Spermiogonien bereits zum größten Teile verschwunden. Wenn es sich nun auch in unseren Versuchen am menschlichen Hoden um geringere Dosen handelte — im vorliegenden Falle waren 100 % der H.E.D. appliziert worden —, so ist es doch interessant, daß nach 4 Tagen nicht einmal beginnende Degenerationserscheinungen an den Spermiogonien wahrzunehmen sind. Sogar normale Spermiogonienmitosen bekommt man zu sehen (vgl. Abb. 5). Es kann aber nicht be-

[1]) Es handelte sich um vollkommen gesundes Material. Die Kastrationen wurden an Sexualverbrechern vorgenommen. (Siehe Slotopolsky und Schinz, 1925.)

zweifelt werden, daß in diesem Falle schließlich doch noch eine vollkommene Depopulation erfolgt wäre. Man kann sich das auf zwei Arten erklären: entweder wären die Spermiogonien im Laufe der nächsten Tage doch noch zur Nekrose gekommen oder sie hätten im Laufe der nächsten Tage ihre Teilungsfähigkeit eingestellt. Da aber die Spermiogonien, die in einem Testikel etwa 1 Woche nach einer Bestrahlung vorhanden sind, kaum mehr mit den zur Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen identisch sein können — es muß sich vielmehr um deren Töchter oder Enkel halten —, so ergibt sich daraus, daß es nicht eine direkte unmittelbare Schädigung der Spermiogonien ist, sondern eine zunächst latent bleibende, die sich erst bei den folgenden Generationen auswirkt, wenn ein menschlicher Hoden durch eine einmalige Bestrahlung mit 100% der H.E.D. sterilisiert wird.

Natürlich muß man bei der Fahndung auf so geringe Effekte, wie sie im besten Falle als Früheffekte nach Bestrahlung mit kleinen Dosen zu erwarten sind, große Vorsicht walten lassen und sich vor leichtfertigen Schlüssen, die in einem so kompliziert und so wechselvoll gebauten Organ, wie es der Hoden und speziell der menschliche Hoden ist, leicht möglich wären, hüten. So sahen wir in einem unserer unbestrahlten Testobjekte an einer Stelle 17 Spermiogonienmitosen beieinander. Hätten wir das in einem der bestrahlten Hoden gesehen, so hätten wir leicht auf die Idee kommen können, es handle sich um eine Vermehrung der Mitosen als Früheffekt der Bestrahlung. Umgekehrt sahen wir in jenem unbestrahlten Testikel an einer anderen Stelle 6 Spermiogonienmitosen, daneben 2 Spermiozytennekrosen und einige Spermidenriesenzellen, ein Befund, der als hier und da sporadisch auftretende Erscheinung im menschlichen Hoden nicht selten ist und zur „normalen Pathologie" des menschlichen Hodens gehört[1]).

Abb. 5. Normale Spermiogonienteilungen aus einem menschlichen Hoden 90 Stunden nach einmaliger Bestrahlung mit 100% der H.E.D. Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 15 ×, Ap. 90. Ganz rechts im Bilde die Membrana propria. Ihr aufsitzend von oben nach unten eine ruhende und drei sich teilende Spermiogonien. In der 2. Etage Sertolikerne, gegen das Lumen zu eine Spermiozyte (?) und drei Spermiden in Spermiohistogenese.

2. Die Stadien der Depopulation.

Die Früheffekte, von denen wir in dem vorigen Abschnitte berichtet haben, waren von verschiedener Natur. Wenn wir nunmehr die verschiedenen Stadien der „Depopulation" („Entvölkerung" — mit diesem Ausdruck bezeichnet die Regaudsche Schule die Leerung der Samenkanälchen) besprechen wollen, die sich an die Früheffekte anschließen, so sind natürlich damit nicht jene „Früheffekte" gemeint, die man nach Applikation ganz großer Dosen, von 30 oder gar von 50 H.E.D. z. B., beobachtet. 4 bis 5 Tage nach der Bestrahlung sind ja hier die Kanälchen bereits vollkommen geleert, liegt ja bereits eine komplette Atrophie 4. Grades vor bzw. es entsteht durch eine Kolliquationsnekrose ein ähnliches Bild. Wenn aber eine Koagulationsnekrose eintritt, wie wir das ja an einem Falle bereits 2 Tage nach einer Bestrahlung mit 50 H.E.D. beob-

[1]) Siehe Slotopolsky und Schinz, 1925.

achten konnten, so schließt sich natürlich daran keine Depopulation, keine Leerung der Kanälchen mehr, sondern was jetzt folgen kann, ist nur noch die Organisation oder Resorption des nekrotisch gewordenen Organes. Die Früheffekte, an die sich die in diesem Abschnitte zu betrachtende Depopulation der Samenkanälchen anschließt, sind vielmehr diejenigen, welche nach Applikation geringerer Dosen, von Dosen, welche unter 4 H.E.D. liegen, sich beobachten lassen. Diese Früheffekte, die in den ersten Tagen nach einer Bestrahlung von 1—3 H.E.D. etwa eintreten, bestehen kurz gesagt in einer sichtbaren Erscheinung: in dem Untergange der großen Mehrzahl der Spermiogonien; und in einer unsichtbaren, die sich aus den folgenden Vorgängen erschließen läßt: in einem Erlöschen der Teilungsfähigkeit der wenigen Spermiogonien, die der Zerstörung entgehen.

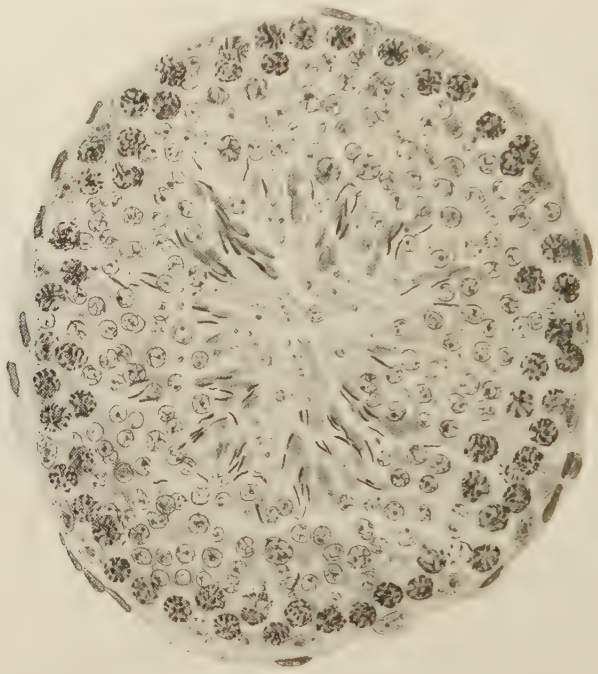


Abb. 6. Stadium I der Röntgendepopulation des Hodens aus einem mit 2 H.E.D. einmal bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 1, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Die Spermiogonien sind sämtlich verschwunden. In die so zwischen den Sertoli entstandenen Lücken sind die Spermiden nachgerückt. Das Samenkanälchen enthält Sertolizellen, Spermiozyten, Spermiden und Spermien, welche sämtlich unversehrt sind — bis auf eine gewisse Anisozytose der Spermiden.

An diese Früheffekte schließt sich die Depopulation an. Wir betrachten zunächst einen mit 2 H.E.D. bestrahlten Testikel 10 Tage nach der Bestrahlung (Prot. Nr. 1, l.). Die Samenkanälchen sind von normaler Weite, sind alle gut gefüllt, enthalten — bei oberflächlicher Betrachtung — alle Stadien der Spermiogenese, und zahlreiche von ihnen enthalten reife, wohlausgebildete Spermien. Ein auf diesem Gebiete unerfahrener Untersucher könnte angesichts dieses Bildes leicht glauben, daß es sich hier noch um völlig normale Verhältnisse handelt, und auf die Idee kommen, daß wir uns hier noch innerhalb der Latenzzeit der Röntgenwirkung befinden. Nichts wäre unrichtiger. Ein genaues Zusehen zeigt, daß in allen diesen so wohl gefüllten Kanälchen bis auf ganz seltene Ausnahmen die Spermiogonien fehlen, und daß die basale Schicht des Wandbelages hier von den Sertolizellen und Spermiozyten, manchmal auch von den Sertolizellen

und Spermiden, gebildet wird. Das ist bereits bedeutungsvoll genug: es bedeutet, daß die Matrix des Organes verlorengegangen ist. Aber noch mehr: der beschriebene

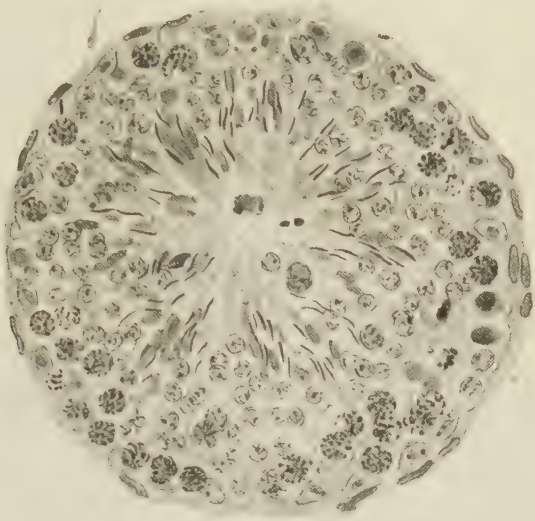


Abb. 7. Stadium I der Röntgendepopulation des Hodens — Kaninchen (Prot. Nr. 1, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Dasselbe Stadium, wie Abb. 6, aber einzelne Spermiozyten (oben und rechts im Bilde) sind pyknotisch. Ausgesprochene Anisozytose der Spermiden.

Testikel befindet sich bereits in voller Depopulation. Wenn wir genauer zusehen, aus welchen Kategorien der Wandbelag der Samenkanälchen sich hier zusammensetzt,

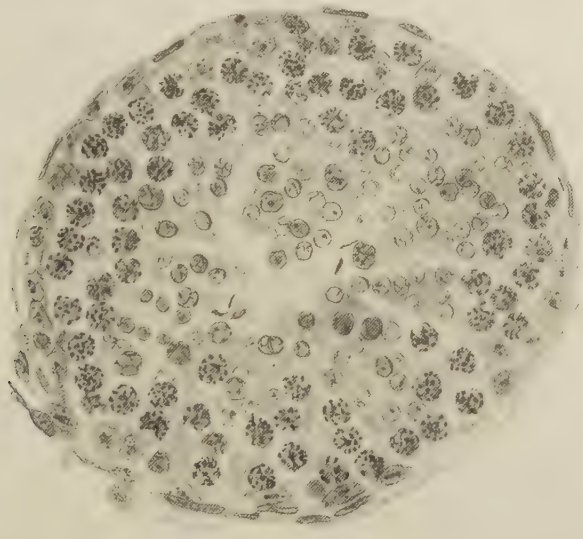


Abb. 8. Stadium II der Röntgendepopulation des Hodens (Prot. Nr. 1, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Inhalt des Samenkanälchens: Sertolizellen, Spermiozyten und Spermiden.

so finden wir, von den Sertolizellen abgesehen, bald Spermiozyten, Spermiden und Spermien, bald Spermiozyten und Spermiden, bald Spermiozyten und Spermien, bald Reifeteilungen und Spermien, bald Präspermiden und Spermien und endlich auch des öfteren

Spermiden und Spermien. Wir betrachten diese Zustandsbilder als sechs aufeinanderfolgende Stadien des Depopulationsprozesses, der dadurch zustande kommt, daß die zur Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen Kategorien des Samenepithels sich noch weiter entwickeln, daß aber kein Nachschub mehr von der Matrix aus (den Spermiogonien) erfolgt, weil diese zum größten Teile zerstört, und soweit sie noch erhalten ist, „gelähmt" ist.

Das Stadium I der Depopulation (vgl. Abb. 6 u. 7) — Wandbelag aus Sertolizellen, erwachsenen Spermiozyten, Spermiden und Spermien — weisen unserer Ansicht nach diejenigen Samenkanälchen auf, deren Spermiozyten sich zur Zeit der Bestrahlung im Stadium der Synapsis befanden. Diese jungen Spermiozyten haben sich in der Zwischenzeit in ausgewachsene, die das Spiremstadium zeigen, umgebildet. Die zur Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen erwachsenen Spermiozyten aber

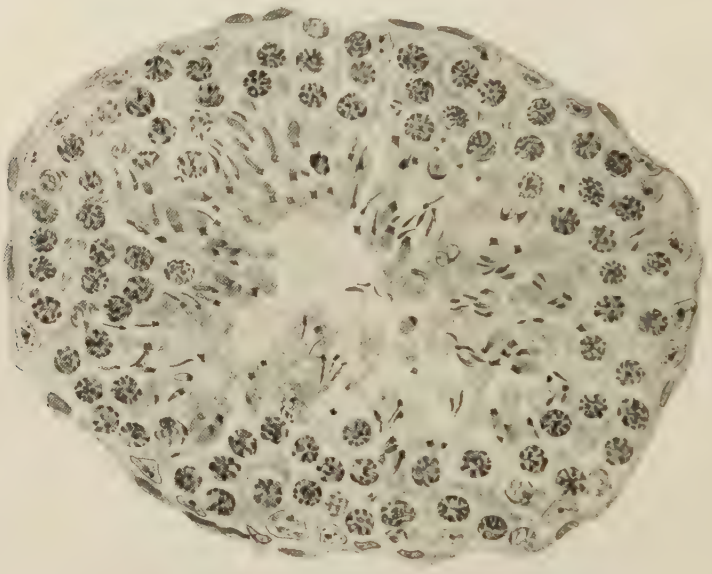


Abb. 9. Stadium III der Röntgendepopulation des Hodens (Prot. Nr. 10). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90). Inhalt des Samenkanälchens: Sertolizellen, Spermiozyten und Spermien.

haben durch die beiden Reifeteilungen die Spermiden geliefert, die sich nunmehr in dem Wandbelage finden, während die seinerzeit vorhanden gewesenen Spermiden sich in Spermien umgewandelt haben.

In Kanälchenabschnitten, in denen dieses Stadium I bereits eine Zeitlang bestanden hat, hat sich inzwischen aus ihm das II. Depopulationsstadium entwickelt (vgl. Abb. 8): Die Spermien sind abgestoßen, und der Wandbelag besteht nur noch aus Sertolizellen, Spermiozyten und Spermiden.

Kanälchenpartien, die zur Zeit der Bestrahlung noch weiter in ihrer spermiogenetischen Phase voraus waren, bzw. die sich seither rascher entwickelt haben, weisen das III. Depopulationsstadium auf (vgl. Abb. 9): Die Spermiden des Stadiums II haben sich in Spermien umgewandelt, und der Wandbelag besteht demgemäß nur noch aus Sertolizellen, Spermiozyten und Spermien.

Entsprechend der verschiedenen spermiogenetischen Phase verschiedener Kanälchenpartien zur Zeit der Bestrahlung, bzw. einer verschiedenen Entwicklungsgeschwindigkeit in verschiedenen Kanälchenabschnitten seit der Bestrahlung treffen wir auch

noch zwei weitere Stadien der Depopulation in unseren Testikeln an: Stadium IV mit einem Wandbelag aus Sertolizellen, Reifeteilungsspindeln und Spermien, bzw. Sertolizellen, Präspermiden und Spermien (vgl. Abb. 10), und Stadium V mit einem Wandbelag aus Sertolizellen, Spermiden und Spermien (vgl. Abb. 11). Dieses Stadium weisen diejenigen Kanälchen auf, die zur Zeit der Bestrahlung nur reife Spermiozyten, d. h. einen Wandbelag aus Sertolizellen, Spermiogonien, reifen Spermiozyten (im Spiremstadium), Spermiden und evtl. Spermien enthielten.

Im Gegensatz zu den verschiedenen spermiogenetischen Phasen, die sich in jedem normalen Testikel finden, lassen sich die beschriebenen fünf Stadien als Depopulations-

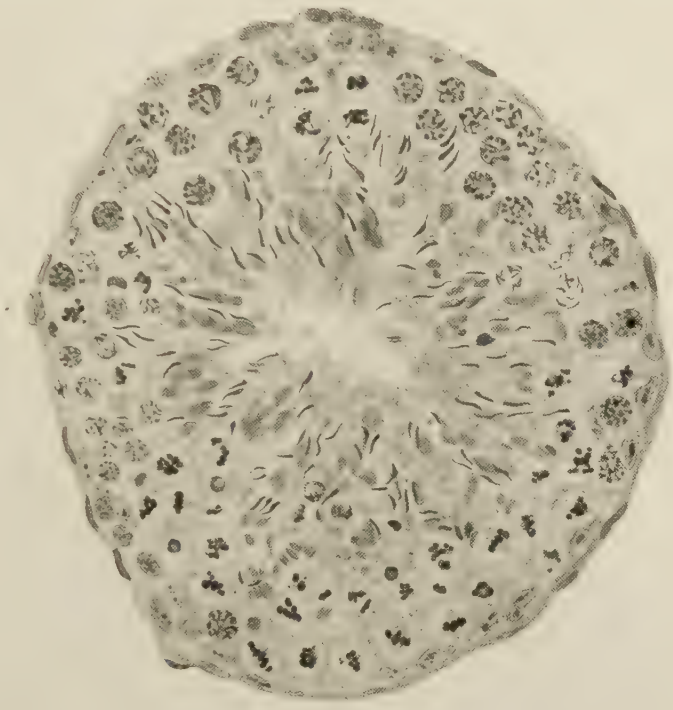


Abb. 10. Stadium III und IV der Röntgendepopulation des Hodens (Prot. Nr. 1, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Rechts im Bilde Stadium III: Sertolizellen, Spermiozyten, Spermien; links und oben Stadium IV: Sertolizellen, Reifeteilungen, Präspermiden bzw. Spermien.

stadien ohne weiteres dadurch erkennen, daß im Wandbelag die Spermiogonien fehlen. Aber auch ohne dieses Hilfsmittel ist die Diagnose: „Testikel in Depopulation" möglich, wenn man die Stadien II—V, ganz besonders aber das Stadium V häufig in einem Hoden antrifft. Insbesondere kommt es im normalen Hoden nie vor, daß die Spermiden in der ganzen Zirkumferenz eines Samenkanälchens bis auf die Membrana propria hinabreichen. Immer sind, wenn auch gelegentlich einmal in Abweichung von der Regel ein lückenloser Kranz von Spermiozyten die Spermiden von der basalen Reihe des Wandbelages trennt, doch wenigstens einige Spermiozyten auch in solchen Kanälchen des normalen Hodens zu finden, in denen die Spermiden an der einen oder anderen kleinen Stelle die Membrana propria erreichen. Ganz anders im in Depopulation begriffenen Röntgenhoden. Hier ist es ein ganz gewöhnliches Bild, ja eigentlich das charakteristische Bild, daß die Spermiden bis auf die Membrana propria hinab-

reichen, ohne daß auch nur eine einzige Spermiozyte in der ganzen Zirkumferenz des Kanälchenschnittes zu sehen wäre.

Nekrobiotische Erscheinungen sind an den Elementen des Samenepithels im Verlaufe der genannten Stadien im allgemeinen nicht zu beobachten. Die Leichen der Spermiogonien, die in den Tagen des Früheffektes noch häufiger sichtbar waren, sind jetzt fast alle verschwunden. Nekrobiotische Erscheinungen an den Spermiozyten aber bilden bei dieser Verlaufsweise der Röntgenatrophie eine Seltenheit. Nur ganz gelegentlich läßt sich unter den Spermiozyten eine pyknotische Zelle auffinden (vgl. Abb. 7).

Um nun den weiteren Verlauf der Depopulation kennen zu lernen, betrachten wir z. B. einen mit 1 H.E.D. bestrahlten Hoden 25 Tage nach der Bestrahlung (Prot. Nr. 4, r.). Hier ist auch für den ungeübten Untersucher die Depopulation ohne weiteres kenntlich.

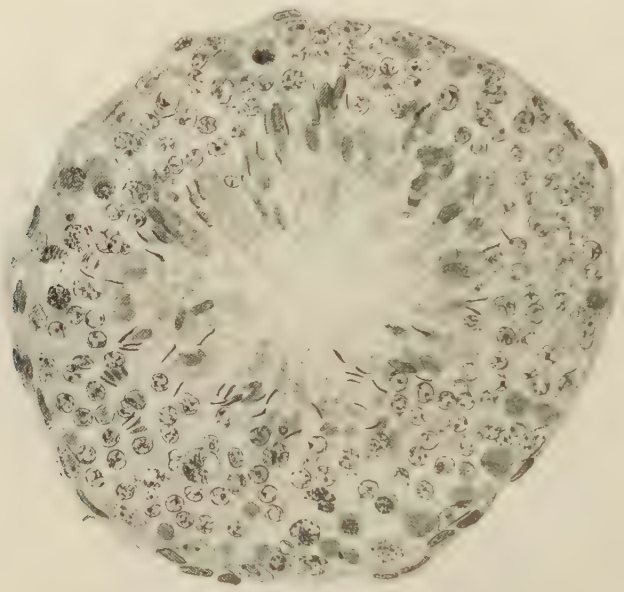


Abb. 11. Stadium V der Röntgendepopulation des Hodens (Prot. Nr. 1, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Sertolizellen, Spermiden, Spermien im Kanälchen, einzelne Spermiozyten des Stadium III haben sich hier nicht weiter entwickelt, sondern sind der Nekrobiose verfallen (oben im Bilde). Die Spermiden reichen zum Teil bis auf die Membrana propria.

Der größte Teil der Samenkanälchen ist „leer", d. h. der Wandbelag ist auf eine einzige Schicht reduziert.

Ein Teil der Kanälchen ist allerdings noch gut gefüllt, und zwar höchst charakteristischerweise mit lauter Spermiden, die an den Stellen, wo keine Sertolizellen der Membrana propria aufsitzen, diese direkt erreichen. Es ist dies das Depopulationsstadium VI, welches sich an das oben beschriebene V. Depopulationsstadium direkt anschließt: Die auf diesem vorhanden gewesenen Spermien sind ins Lumen abgestoßen worden, und nun besteht der Wandbelag nur noch aus Sertolizellen und Spermiden (vgl. Abb. 12).

Sobald auch diese Spermiden sich in Spermien umgewandelt haben, ist die letzte Generation von Spermien gebildet, die nun direkt über den Sertolizellen stehen. Es ist das Depopulationsstadium VII, ein höchst charakteristisches Bild, das sich von dem der gewöhnlichen Hodenatrophie 4. Grades durch die Anwesenheit von Spermien unterscheidet und erkennen läßt, daß die Leerung der Samenkanälchen hier nicht durch einen

sukzessiven nekrobiotischen Zerfall der verschiedenen Kategorien des Samenepithels, sondern lediglich dadurch erfolgte, daß bei normaler Weiterentwicklung der zur

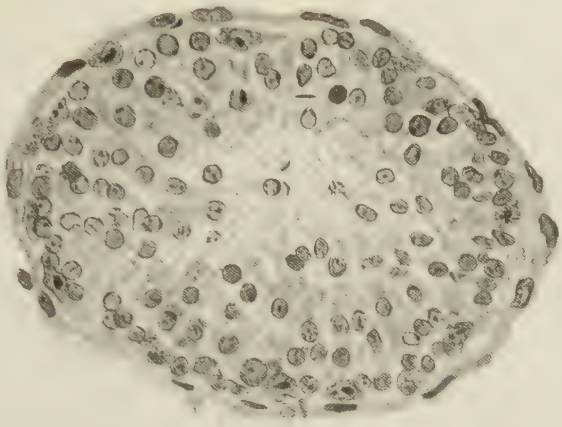


Abb. 12. Stadium VI der Röntgendepopulation des Hodens aus einem einmal mit 1 H.E.D. bestrahlten Kaninchen (Prot. Nr. 4, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Wandbelag aus Sertolizellen und Spermiden bestehend, die bis auf die Membrana propria vorgerückt sind.

Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen Spermiden und Spermiozyten der normalerweise vorhandene Nachschub von den Spermiogonien aus unterblieb (vgl. Abb. 13).

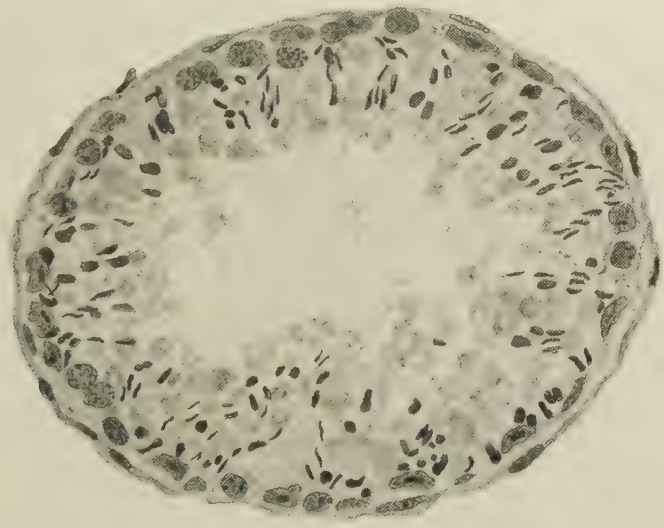


Abb. 13. Stadium VII der Röntgendepopulation des Hodens (Prot. Nr. 4, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Wandbelag aus Sertolizellen und Spermien. Es ist hier bereits das erste Restitutionsstadium superponiert: Man sieht wieder zahlreiche (aus den Sertolizellen) neugebildete Spermiogonien zwischen den Sertolizellen. Links unten im Bilde eine zweikernige Spermiogonie.

Ist nun auch diese letzte Spermiengeneration abgestoßen, so besteht der Wandbelag nur noch aus den Sertolizellen, das Depopulationsstadium VIII ist erreicht und damit das Ende der Depopulation. Dieses Bild ist dann von dem der gewöhn-

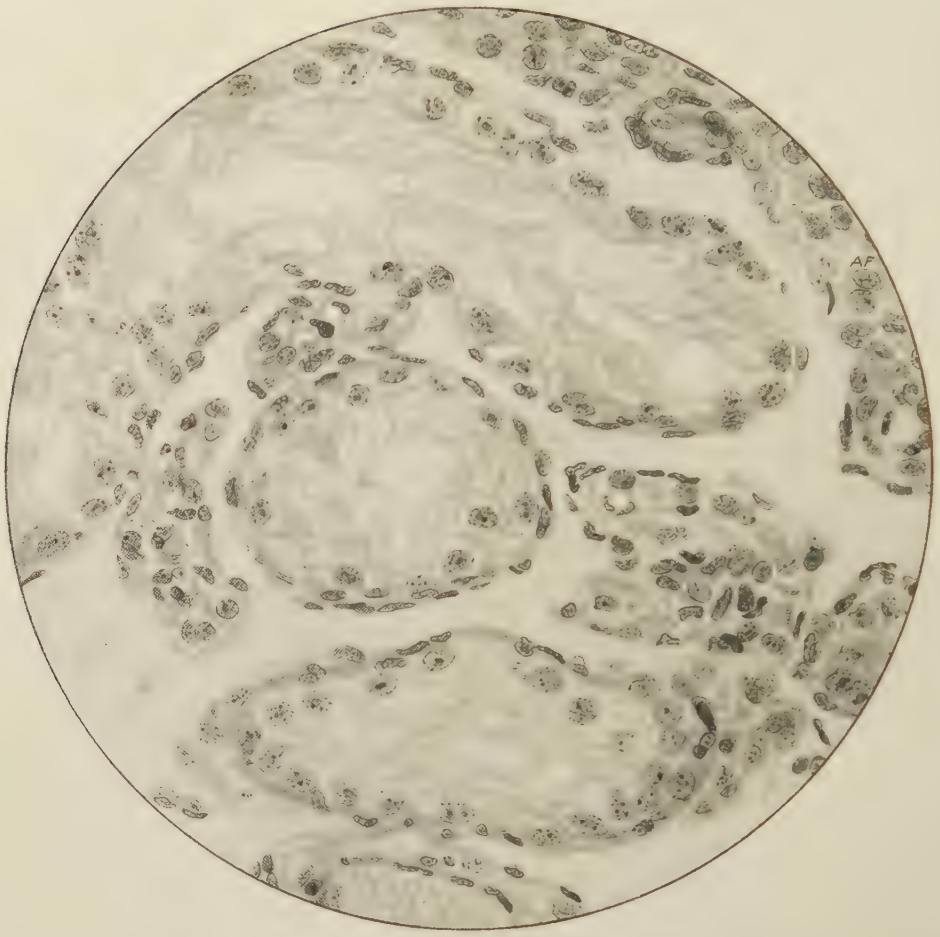


Abb. 14. Stadium VIII der Röntgendepopulation des Hodens aus einem einmal mit 4 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 3, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Der Wandbelag besteht nur noch aus Sertolizellen.

lichen Hodenatrophie 4. Grades in keiner Weise zu unterscheiden (vgl. Abb. 14 und 15); der Endeffekt ist also bei beiden Formen der Atrophie derselbe, nur ist die Verlaufsweise eine durchaus andere.

Die beiden letzten Depopulationsstadien, Stadium VII und VIII treten nicht immer in reiner Form auf, d. h. wenn eine Restitution stattfindet, und eine solche

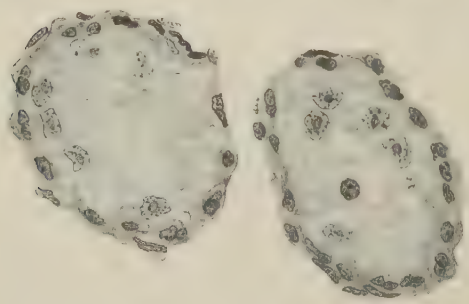


Abb. 15. Dauernde Röntgenatrophie von Samenkanälchen (Prot. Nr. 3, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Die zum Teil von der Membrana propria abgehobenen, ins Lumen wandernden Sertolikerne in den außerordentlich geschrumpften Kanälchen sind an Zahl erheblich erduziert. Sie sind offenbar in Degeneration begriffen, auf jeden Fall aber regenerationsunfähig.

dürfte nach unseren Erfahrungen nach einmaliger Bestrahlung mit 1—3 H.E.D. die Regel sein, so superponiert sich das 1. Stadium der Restitution den beiden letzt-

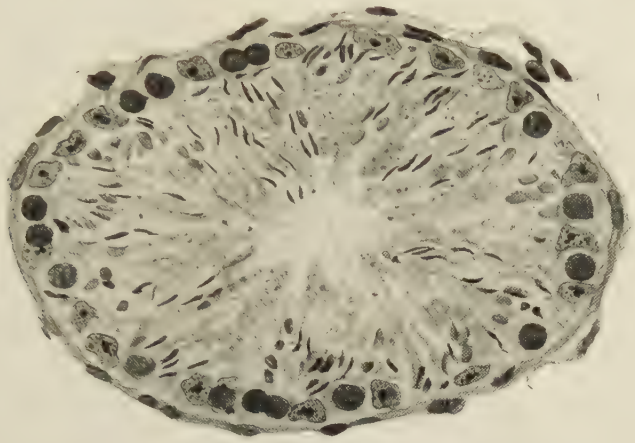


Abb. 16. Beginn der Restitution auf dem Depopulationsstadium VII (vgl. Abb. 13) aus einem einmal mit 4 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 4, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90.

genannten Depopulationsstadien. D. h. es treten im Wandbelag auf einmal wieder zahlreiche Spermiogonien auf, so daß auf den Depopulationsstadien VII und VIII der Wandbelag unter Umständen aus in einer Reihe liegenden Sertolizellen und Spermiogonien und

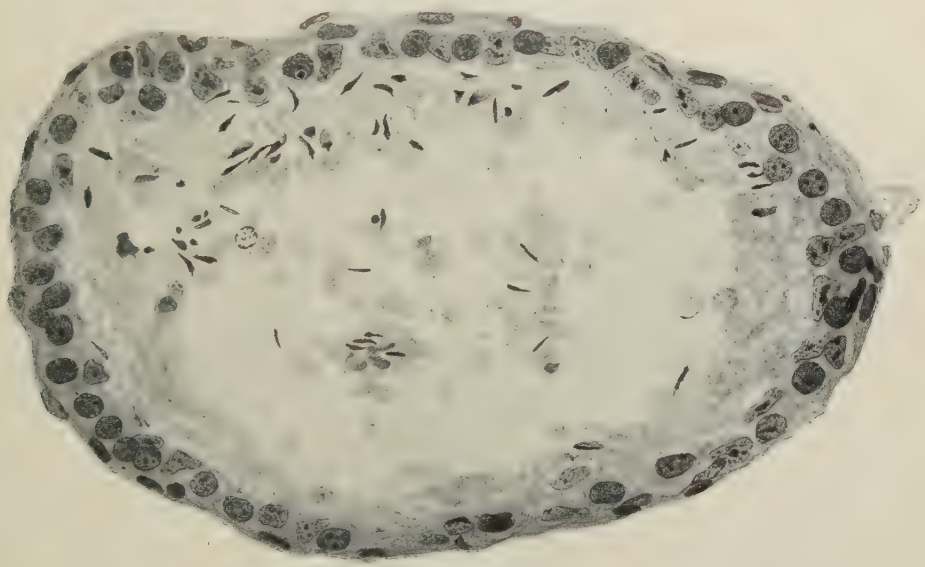


Abb. 17. Aus demselben Kaninchenhoden (Prot. Nr. 4, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Das Samenkanälchen zum Großteil von den Spermien entleert. Restitution durch Neubildung von Spermiogonien in vollem Gange.

unmittelbar über ihnen liegenden Spermien, bzw. aus einer Reihe von Sertolizellen und Spermiogonien allein besteht, und dieses ist in der Tat bei dem soeben beschriebenen Testikel (Prot. Nr. 4, r.) der Fall (s. Abb. 16 u. 17). Im Gegensatz dazu finden wir z. B.

30 Tage nach Applikation von 2 H.E.D. bei einem anderen Testikel den Wandbelag der Kanälchen ganz vorwiegend aus Sertolizellen gebildet, und vollständig aus Sertolizellen 37 Tage nach Applikation von 4 H.E.D. (Prot. Nr. 3, l.). In dem letzteren Falle halten wir es allerdings für wahrscheinlich, daß es zu keiner Restitution mehr kommt.

Wenn wir uns nun fragen, worin das Wesen der geschilderten Vorgänge liege, so ist festzustellen: In einer mäßigen Dosis appliziert, d. h. in einer Dosis, die gerade noch stark genug ist, um eine vollkommene Depopulation, bzw. Atrophie 4. Grades, oder klinisch gesprochen eine Azoospermie zu bewirken, bringen Röntgenstrahlen lediglich die Spermiogonien direkt zur Nekrose. Die übrigen Kategorien des Samenepithels lassen sie, von vereinzelten sporadischen Ausnahmen abgesehen, intakt, und behindern sie in ihrer Weiterentwicklung nicht. Bedeutet das, daß sie überhaupt keine Wirkung auf diese Kategorien des Samenepithels haben? Wir glauben nicht. Denn es fällt uns an allen unseren Präparaten auf, daß die Spermiden, insbesondere auf den so charakteristischen Depopulationsstadien V und VI sich durch eine sehr ungleiche Größe auszeichnen, Größenschwankungen, die weit über die Variabilität hinausgehen, die wir im normalen Hoden beobachten. Während normalerweise die Variationsbreite des Spermidendurchmessers sehr gering ist und meist zwischen 5,3 und 6 μ schwankt — Werte bis zu 4,6 μ treten sehr selten und solche von 6,5 bis 8 μ nur ganz ausnahmsweise einmal auf — so ist während der Depopulation eine viel größere Variationsbreite in dieser Hinsicht wahrnehmbar, wobei die Grenze vor allem nach oben verschoben ist. So findet man in jedem spermidenhaltigen Kanälchen hier alle Übergänge von 4,6 bis 8,7 μ. Wir bezeichnen diese unseres Wissens bisher von der Regaudschen Schule und von Herxheimer und Hoffmann (Regaud 1908, Hoffmann 1908) beschriebene Erscheinung als Anisozytose der Spermiden. Sie ist der Ausdruck einer latenten Schädigung der von der Bestrahlung getroffenen Spermiozyten evtl. auch Präspermiden, die zwar in ihrer Weiterentwicklungsfähigkeit nicht betroffen werden, aber abnorme Produkte liefern. Diese Art von Schädigung gehört zu den Schädigungen, die Regaud, da sie sich nicht an der von den Strahlen getroffenen Zelle selbst, sondern erst in späteren aus ihr hervorgehenden Generationen zeigen, als heredozelluläre Schädigungen, bezeichnet.

Wir glauben, in der Annahme nicht fehl zu gehen, daß die aus diesen Spermiden gebildeten Spermien auch zu einer normalen Befruchtung nicht fähig sein dürften.

Eine heredozelluläre Schädigung braucht sich natürlich nicht allein nur in der Qualität der Nachkommenschaft zu zeigen, sie kann auch quantitativer Natur sein. Wir haben gewisse Anhaltspunkte für die Annahme, daß auch eine heredozelluläre Schädigung quantitativer Natur bei dem Ablaufe der Depopulation, wie wir ihn beschrieben haben, mitwirkt, nicht etwa im Sinne einer zahlenmäßigen Verminderung der gebildeten Spermiden oder Spermien, sondern im Sinne einer Verlangsamung der Teilungsvorgänge an den Spermiozyten und Präspermiden und vielleicht auch der Umwandlung der Spermiden in Spermien, d. h. der Spermiohistogenese, und auf diese Weise — der Depopulation selber. Das würde also bedeuten, daß durch die (heredozelluläre) Schädigung der Spermiozyten, Präspermiden und Spermiden der Depopulationsprozeß verlangsamt, und so der klinische Effekt der Bestrahlung vermindert wird, eine Paradoxie, die aber nach dem Gesagten vollkommen verständlich ist.

Die Depopulation bei der hier beschriebenen Verlaufsweise der Röntgenatrophie des Hodens kommt dadurch zustande, daß bei erhaltener Weiterentwicklungsfähigkeit der übrigen Kategorien des Samenepithels die Spermiogonien, von wenigen Ausnahmen, die aber auch ihre Teilungsfähigkeit einbüßen, abgesehen, zugrunde gehen, d. h. daß die „Matrix“ dieser „holokrinen Drüse“ verschwindet. Es ist aber ersichtlich, daß

der gleiche Effekt auch eintreten müßte, wenn die Spermiogonien, ohne daß auch nur eine einzige von ihnen abzusterben brauchte, lediglich für eine gewisse Zeit ihre Teilungsfähigkeit einstellen würden. Theoretisch ist denkbar, daß es eine Dosis gibt, die zu klein ist, um die Spermiogonien abzutöten, aber noch groß genug, um ihre Teilungsfähigkeit aufzuheben. Es ist auch nach dem Gesagten selbstverständlich, daß diese Dosis für den Kaninchenhoden bei einmaliger Bestrahlung unter 100% der H.E.D. liegen muß.

Wir hatten die große Freude, eine solche Dosis zu finden. Sie existiert, und sie beträgt 10% der H.E.D. 11 Tage nach einer Bestrahlung mit 10% der H. E. D. (Prot. Nr. 20, r.) finden wir den Wandbelag der Samenkanälchen in bezug auf die Menge der Spermiogonien überall normal, aber daneben eine ausgesprochene Depopulation. In vielen Kanälchen stehen direkt über dieser basalen aus Sertolizellen

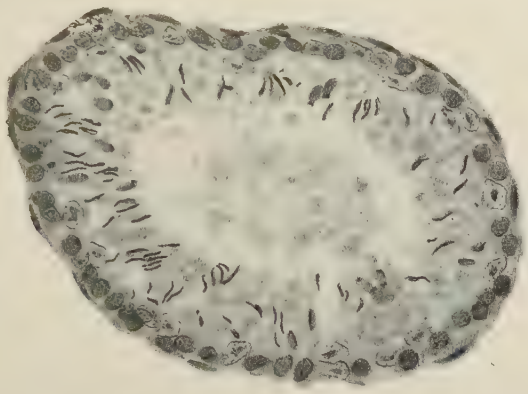


Abb. 18. Vollkommene Depopulation eines Hodenkanälchens nach Applikation einer minimalen Röntgendosis — einmalige Applikation von 10% der H.E.D. (Prot. Nr. 20, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 90. Die Depopulation ist hier nicht durch einen Untergang, sondern lediglich durch einen Teilungsstillstand der Spermiogonien bewirkt. Im Gegensatz zu den Abb. 13, 16 u. 17 sind die zahlreichen, hier vorhandenen Spermiogonien nicht aus Sertolizellen neugebildete, sondern alte, vorübergehend gelähmte Spermiogonien. Das Leerungsstadium ist also bereits am Verschwinden. Oben im Bilde liegen die Spermiogonien sehr dicht gedrängt und scheinen die Sertolikerne aus der basalen Etage verdrängt zu haben: rasch aufeinanderfolgende Spermiogonienteilung.

und Spermiogonien gebildeten Reihe Spermiden; häufig treffen wir auch das Depopulationsstadium VII: eine basale Reihe aus Sertolizellen und — in diesem Falle — morphologisch völlig intakten und in völlig normaler Zahl vorhandenen Spermiogonien und unmittelbar darüber ein Kranz von Spermien (vgl. Abb. 18). Gelegentlich sind diese Spermien von der basalen Spermiogonienreihe noch durch einen Abstand getrennt, der der Dicke der Schicht entspricht, die normalerweise zwischen den Spermiogonien und den Spermien liegt, ein ungemein instruktives Bild, das mit verblüffender Deutlichkeit zeigt, was hier vorging und in demonstrativster Weise klarmacht, daß im Hoden kein statisches, sondern ein dynamisches Gleichgewicht herrscht, daß alles hier in ständiger Bewegung ist, und daß die Spermiogonien sich ununterbrochen teilen müssen, wenn nicht in kürzester Zeit — es braucht nur 10 Tage dazu — die Samenkanälchen sich mehr oder weniger vollständig leeren sollen. Ein solches Präparat gehört unseres Erachtens in jeden normal-histologischen Kurs, weil es dem Lernenden mit größter Plastizität etwas vor Augen führt, worauf für das Verständnis des Testikels viel ankommt. Hier erscheint die Röntgenbiologie von nicht minder großer Bedeutung für die normale,

wie für die pathologische Histologie. „En modifiant expérimentalement par les radiations la structure et les fonctions d'un organ complexe (testicule, ovaire, thymus etc.), on met en oeuvre un moyen d'analyse simple et efficace; on dissocie, avec une précision et une sûreté incomparable, des éléments anatomiques et des phénomènes physiologiques intriqués les uns dans les autres, et par conséquent, difficiles à distinguer nettement à l'état normal." (Regaud und Lacassagne, 1922).

Der beschriebene Teilungsstillstand der Spermiogonien nach einer Bestrahlung mit 10% der H.E.D. ist jedenfalls nur ein vorübergehender. 1. einmal finden wir in dem erwähnten Testikel in den Spermiogonien der geleerten Kanälchen bereits wieder häufig Teilungsfiguren — es scheint also, daß nach ca. 10 Tagen die „Lähmung" sich wieder zu lösen beginnt, und vor allem, bei einem mit 45% der H.E.D. bestrahlten Testikel, in welchem 11 Tage nach der Bestrahlung die Spermiogonien zum Teil zugrunde gegangen, zum Teil „gelähmt" worden waren, sehen wir 32 Tage nach der Bestrahlung, zu einem Zeitpunkt, zu dem wir bei Dosen von 1 bis 3 H.E.D. noch vollständige Atrophie vorfinden, die Schädigung bereits wieder vollkommen ausgeglichen und in den Samenkanälchen ein Bild, das sich von dem normalen in nichts mehr unterscheidet. Es kann wohl kein Zweifel sein, daß dieser Verlauf um so eher nach Applikation von nur 10% der H.E.D. zu erwarten ist. Leider ist uns der zweite nach 32 Tagen exstirpierte Testikel des mit 10% der H.E.D. bestrahlten Versuchstieres durch einen unglücklichen Zufall abhanden gekommen, so daß wir den genannten Schluß nur indirekt nach dem bei Bestrahlung mit 45% der H.E.D. Beobachteten ziehen können. Wir werden die Lücke bei geeigneter Gelegenheit ausfüllen und dann auch noch eine Reihe von Zwischenstadien, zwischen dem 10. und dem 30. Tage untersuchen. Das Objekt ist reizvoll genug, um auch eine ganz detaillierte Nachforschung zu rechtfertigen.

Die Tatsache, daß wir bei Applikation von 10% der H.E.D. schon nach 11 Tagen eine teilweise vollständige Depopulation bis zum Stadium VIII vor uns haben, während wir 10 Tage nach Applikation von 200% der H.E.D. z. B. die Depopulation nur bis zum Stadium VI vorgeschritten finden (s. S. 16—18, Prot. Nr. 1, 1.) gibt zu denken. Die Differenz ist zu groß, um als individuelle Schwankung erklärt zu werden. Wir vermuten, daß bei Applikation von 10% der H.E.D. die Spermiozyten, Präspermiden und Spermiden nicht nur an ihrer Weiterentwicklung nicht gehindert werden, sondern, daß auch ihre Weiterentwicklungsgeschwindigkeit nicht vermindert wird. Die Depopulation geht deshalb, wie wir glauben, hier mit einer Geschwindigkeit vor sich, die dem normalen Teilungsrhythmus der Spermiozyten und Präspermiden unter normaler Dauer der Spermiohistogenese entspricht. Dagegen dürfte, wie bereits oben ausgeführt, bei Anwendung höherer Dosen die Geschwindigkeit der Entwicklung der Spermiozyten, Präspermiden und Spermien herabgesetzt und auf diese Weise die Dauer der Depopulation verlängert werden. Es darf allerdings nicht verschwiegen werden, daß diese Annahme etwas Willkürliches an sich hat. So nimmt Regaud (1911) im Gegensatz zu unserer Auffassung an, daß die Depopulationszeit nach Abtötung der Spermiogonien, die bei der Ratte ca. 4 Wochen dauert, der normalen Entwicklungsdauer einer „spermiogenetischen Linie", d. h. der Zeit, welche von der Teilung einer Reservespermiogonie (in eine Reservespermiogonie und in eine aktive Spermiogonie), bis zur Eliminierung der Spermien, die aus ihr (der durch jene Teilung gebildeten aktiven Spermiogonie) hervorgehen, verfließt. Die auf diese Weise bestimmte Dauer einer spermiogenetischen Linie findet Regaud bei Hund und Katze ebenso groß. Auch wir konnten konstatieren, daß nach Bestrahlung mit 1 bis 3 H.E.D. die Depopulationszeit im Kaninchenhoden ca. 4 Wochen beträgt. Aber wir halten es nicht ohne weiteres für erlaubt, eine Röntgenbestrahlung von beliebiger Dosis zur Bestimmung der normalen Dauer eines spermiogenetischen Zyklus zu verwenden, und wir halten es für sehr gut möglich, daß, wie oben ausgeführt, diese Depopulationszeit nicht der normalen Dauer eines spermiogenetischen Zyklus entspricht, sondern diesem gegenüber verlängert ist. Wir wurden, abgesehen von prinzipiellen Erwägungen, durch den erwähnten Befund nach Applikation von 10% der H.E.D. darauf geführt, wobei man bereits 10 Tage nach der Bestrahlung eine ganz weitgehende, vielfach bereits vollendete Depopulation antrifft. Immerhin könnte es dennoch möglich sein, daß die Auffassung von Regaud zu Recht bestünde, und daß die rasche Depopulation nach Bestrahlung mit 10% der H.E.D. gegenüber der normalen Entwicklungszeit verkürzt wäre und auf einer Reizwirkung der schwachen Dosis auf die Spermiozyten z. B. beruhen würde. In

diesem Falle müßte man annehmen, daß entsprechend dem Arndt-Schulzschen biologischen Grundgesetz der schwache Reiz von 10% der H.E.D. auf die Spermiozyten fördernd wirke, der stärkere Reiz von 100—300% der H.E.D. sie aber unbeeinflußt lasse. Größere Dosen würden dann auf die Spermiozyten lähmend und noch größere tötend wirken. (Siehe darüber noch Seite 478 ff.) Die ganze Frage scheint uns noch weiterer Untersuchungen bedürftig.

Sehr instruktiv sind für das Verständnis des Mechanismus der Röntgenatrophie bei Applikation schwacher und mittlerer Dosen, d. h. von Dosen unter 400% der H.E.D. schließlich doch die bereits angedeuteten Bilder, die man bei Bestrahlung mit 45% der H.E.D. zu sehen bekommt. Es ist ungemein charakteristisch, wie man 11 Tage nach einer solchen Bestrahlung (Prot. Nr. 19, r.) in den in Depopulation begriffenen Kanälchen ungefähr die Hälfte der Spermiogonien morphologisch intakt, die übrige Hälfte aber „spurlos" verschwunden sieht. 10 Tage nach der Bestrahlung mit verschwindenden Ausnahmen überhaupt keine Spermiogonien mehr, wenn 2 H.E.D. appliziert wurden; nur ein Teil der Spermiogonien erhalten, wenn 45% der H.E.D. verabreicht wurden; sämtliche Spermiogonien erhalten, wenn mit 10% der H.E.D. bestrahlt worden war. Im übrigen zeigte der erwähnte Testikel Stadium I bis V der Depopulation, gerade so, wie wir das auch sonst ca. 10 Tage nach der Bestrahlung zu sehen bekommen. Daß noch innerhalb der ersten 4 Wochen nach der Bestrahlung mit 45% der H.E.D. eine vollständige Repopulation erfolgt (Prot. Nr. 19, l.), haben wir bereits gesagt.

Die Atrophie des Hodens wird im allgemeinen in eine Reihe von Stadien oder Grade eingeteilt. So unterscheidet Spangaro (1902) drei Grade, Goette (1921) vier Grade und wir selbst (Schinz und Slotopolsky, 1924), haben seinerzeit fünf Grade der Hodenatrophie unterschieden (s. S. 450 der vorliegenden Arbeit). Der Leser darf sich nicht wundern, daß er in der in diesem Abschnitt gegebenen Schilderung des Verlaufes der Röntgenatrophie des Hodens diese Grade (oder Stadien) nicht wiederfindet. Die Röntgenatrophie des Hodens nimmt nämlich innerhalb der Hodenatrophien eine Sonderstellung ein und repräsentiert einen eigenen Typus. Während bei den übrigen Hodenatrophien die Leerung der Kanälchen durch einen sukzessiven nekrobiotischen Untergang der Spermiden, Spermiozyten und Spermiogonien erfolgt, geht der Prozeß bei der Röntgenatrophie nach Applikation kleiner oder mittlerer Dosen — in unserem Falle bis zu 4 H.E.D. — in umgekehrtem Sinne und ohne nennenswerte nekrobiotische Erscheinungen vor sich. Und gerade diese Verlaufsweise nach Applikation der genannten Dosen haben wir der Schilderung in diesem Abschnitte zugrunde gelegt. Bei Dosen über 4 H.E.D., insbesondere dann bei den ganz großen Dosen, von 15, von 30 H.E.D. erfolgt die Leerung der Kanälchen in einer dem allgemeinen Typus der Hodenatrophie ähnlichen Weise, wenigstens insoweit, als hier nekrobiotische Prozesse am Samenepithel im Vordergrund stehen, wie wir das in dem Kapitel über die Früheffekte bereits angedeutet haben. Wir kommen auf die verschiedenen Verlaufsweisen der Röntgenatrophie des Hodens bei Applikation verschieden hoher Dosen und auf die allgemeine Stellung der Röntgenatrophie des Hodens innerhalb der Hodenhypobiosen, d. h. der nekrotischen und atrophischen Prozesse am Hoden überhaupt, noch ausführlicher zurück.

3. Die Restitution.

Wir haben in dem vorangegangenen Abschnitte bereits erwähnt, daß nach Applikation von Dosen bis zu 4 H.E.D. sich an die Depopulation regelmäßig wieder eine Repopulation anschließt, daß also die Röntgenatrophie des Hodens in solchen Fällen nur vorübergehend, die Azoospermie nicht dauernd ist. Auf die interessanteste Frage

bei dieser Erscheinung, nämlich von welchen Elementen die Restitution ihren Ausgang nimmt, ob von den wenigen persistierenden Spermiogonien, die sich dann wieder erholen würden, oder von den ja durchweg in toto persistierenden Sertolizellen, die dann eine Art Entdifferenzierung durchmachen müßten, wollen wir jetzt noch nicht eingehen. Wir behandeln sie ausführlicher im letzten Abschnitt der vorliegenden Arbeit. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß interessanterweise, wie das Regaud bereits angegeben hat, die Restitution unmittelbar ohne Intervall an die Depopulation anschließt, ja sie superponiert sich ihr sogar, wie wir gesehen haben, d. h. in den letzten beiden Depopulationsstadien finden wir auf einmal wieder typische Spermiogonien in den Kanälchen (z. B. Prot. Nr. 4 r. und l.), die auch bald wieder Teilungsfiguren erkennen lassen (vgl. Abb. 16, 17 und 19). Im übrigen schreitet der Prozeß

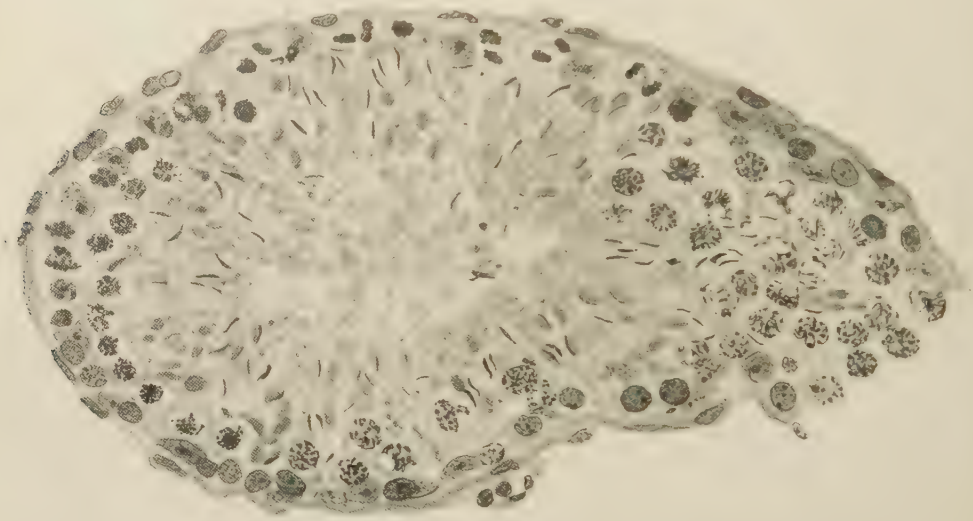


Abb. 19. Repopulation eines Röntgenhodens nach einmaliger Bestrahlung mit 1 H.E.D. (Prot. Nr. 4, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Spermiogonien, Spermiogonienteilung, neugebildete Spermiozyten, Reifeteilungen und alte, von der Depopulation her zurückgebliebene Spermien.

dann verschieden rasch fort. So finden wir in einem Falle 40 Tage nach einer Bestrahlung mit 3 H.E.D. (Prot. Nr. 8, l.) im Wandbelag der Kanälchen auffallend viele von den Sertolizellen deutlich zu unterscheidende Spermiogonien, hier und da einmal in Mitose und manchmal auch bereits Synapsen, während wir in einem anderen Falle nach Applikation von 2 H.E.D. schon 38 Tage nach der Bestrahlung (Prot. Nr. 7, l.) die Restitution schon viel weiter fortgeschritten finden. Wir sehen hier bereits Spermiozyten, Reifeteilungen, Präspermiden, ja selbst schon Spermiden (vgl. Abb. 20). Vereinzelte Spermien, die man hier in den Kanälchen sieht, dürften dagegen noch aus der Depopulationsperiode stammen: Angesichts dessen, daß die Repopulation vielfach bereits beginnt, ehe noch das letzte Depopulationsstadium erreicht ist, kann man es verstehen, daß die letzte Spermiengeneration, die im Depopulationsstadium VII unmittelbar über den Sertolizellen steht, bei Einsetzen der Repopulation gegen das Lumen hin weggeschoben wird. Die verschiedene Geschwindigkeit der Restitution in beiden Fällen mag eine individuelle Schwankung darstellen, mag aber auch mit der verschiedenen Stärke der seinerzeit angewandten Dosis zusammenhängen. 47 Tage nach der Bestrahlung finden wir, wenn die Dosis kleiner als 4 H.E.D. war, die Restitution bereits voll-

kommen vollendet. Die betreffenden Testikel sind dann von einem normalen Organe nicht mehr zu unterscheiden (z. B. Prot. Nr. 7 r. und 8 r.). Bei Applikation von 4 H.E.D. haben wir verschiedene Verlaufsweisen beobachtet. Einmal (Prot. Nr. 11, l.) fanden wir 42 Tage nach der Bestrahlung den Hoden in Repopulation, die teilweise bis zur Ausbildung von Synapsen oder sogar Spermiozyten gediehen war. In allen anderen Fällen hingegen war die Atrophie nach Applikation von 4 H.E.D. offenbar dauernd. Für beweisend halten wir insbesondere einen Fall (Prot. Nr. 15, l.), in dem wir den betreffenden Testikel erst 66 Tage nach der Bestrahlung untersucht und völlig atrophisch gefunden haben. Aber auch bei der Untersuchung zu einem früheren Zeitpunkt kann man unter Umständen aus dem völligen Fehlen von Spermiogonien, aus dem Aussehen von Sertolizellen, die nicht mehr in einem schönen Kranze an der Peripherie des Kanäl-

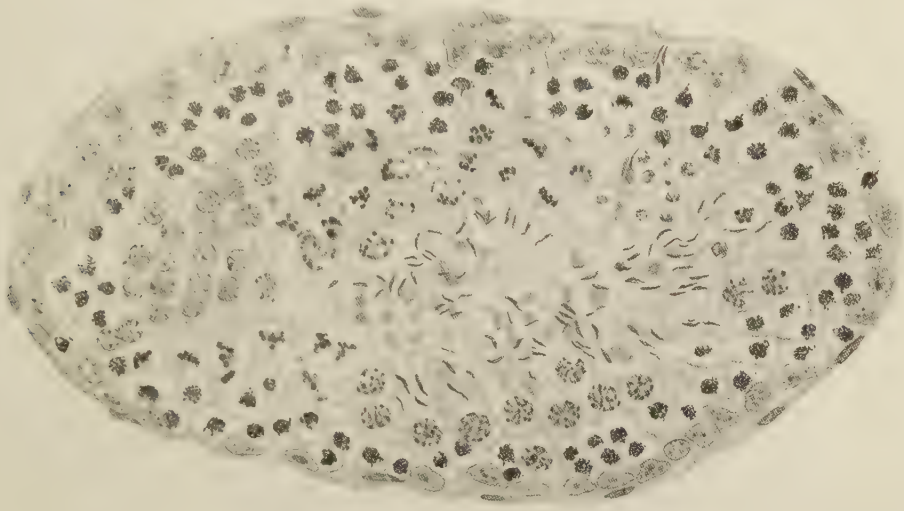


Abb. 20. Vorgeschrittene Repopulation eines Röntgenhodens 38 Tage nach einer Bestrahlung mit 2 H.E.D. (Prot. Nr. 7, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Zahlreiche Synapsen, Reifeteilungen. Präspermiden (links im Bilde), ja selbst schon Spermiden. Vereinzelte Spermien dürften vielleicht noch aus der Depopulationsperiode stammen.

chens, sondern zerstreut im Lumen umherliegen, bzw. aus einer bereits eingetretenen Verdickung der Membrana propria einen Schluß auf die dauernde Natur der Atrophie machen, so z. B. in einem unserer Fälle (Prot. Nr. 16, l.) 35 Tage nach einer Bestrahlung mit 4 H.E.D. (vgl. Abb. 21). In allen Fällen, in denen noch größere Dosen appliziert worden waren, wird selbstverständlich auf eine Restitution schon gar nicht zu rechnen sein. Es versteht sich von selber, daß z. B. 25 Tage nach einer Bestrahlung mit 15 H.E.D. (Prot. Nr. 21, l.) kein Anzeichen einer solchen wahrnehmbar ist (vgl. Abb. 22).

In unseren Kaninchenversuchen erfolgte nach einmaliger Röntgenbestrahlung entweder innerhalb spätestens 7 Wochen nach der Bestrahlung eine vollständige Restitutio ad integrum, deren erste Anzeichen gewöhnlich bereits in der 4. Woche auftraten, oder andernfalls blieb eine Restitution überhaupt aus. Allerdings erstreckt sich die längste von uns gemachte Beobachtung auch nicht mehr als über 66 Tage. Aber wir persönlich möchten vorerst nicht glauben, daß in den betreffenden Fällen im Laufe der Zeit noch eine Restitution eingetreten wäre. Immerhin geben die klinischen Erfahrungen, nach denen nach lang dauernder totaler Azoospermie sich die Testikel später doch noch erholten — wir meinen die Erfahrungen an Röntgenologen und

Röntgenpersonal —, zu denken. Die Frage bedarf noch weiterer experimenteller Verfolgung.

Im Tierversuch fanden wir als Grenzdosis für das Eintreten oder Ausbleiben einer Restitution unmittelbar im Anschluß an die Depopulation, also innerhalb der ersten 7 Wochen nach der Bestrahlung, den Wert von 4 H.E.D. Interessant war daher für uns ein abweichendes Verhalten bei einem Menschen, den wir durch einmalige Bestrahlung mit 1 H.E.D. sterilisiert haben. In diesem Falle findet sich 9 Wochen nach der Bestrahlung eine vollkommene Atrophie, und kein Anzeichen irgendwelcher Restitution[1]) (vgl. Abb. 23). Ob eine solche hier im Laufe der Zeit noch erfolgt wäre, wissen wir nicht.

Hingegen verfügen wir über einen anderen Fall, in dem uns beim Menschen mit Sicherheit eine dauernde Sterilisierung gelungen ist[2]). Über diesen Fall haben wir

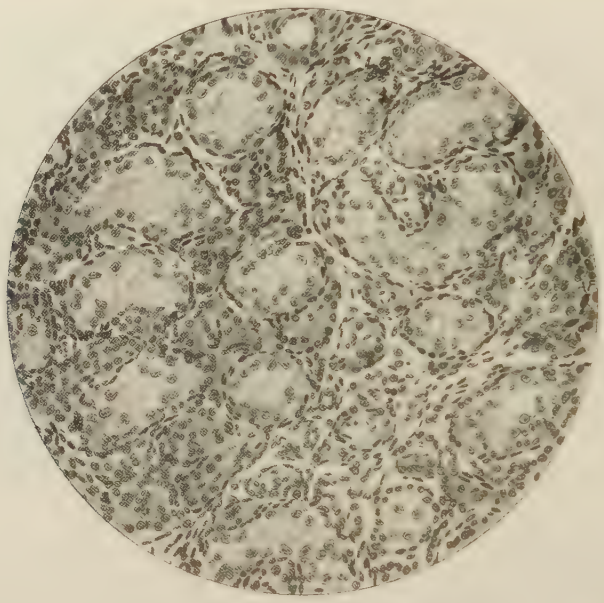


Abb. 21. Endstadium der Röntgenatrophie des Hodens 35 Tage nach Applikation von 4 H.E.D. (Prot. N.r 16, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 40. Starke Schrumpfung der Samenkanälchen, Reduktion des Samenepithels auf die Sertolizellen. Starke relative Vermehrung des Zwischengewebes.

seinerzeit nach 6 Monate langer Beobachtungsdauer berichtet (vgl. Schinz 1922). D. h. es bestand damals 6 Monate lang Azoospermie. Heute können wir hinzufügen, daß dieser Zustand nunmehr nach 3 Jahren unverändert ist, d. h. es ist an dem Dauereffekt kein Zweifel möglich. Es sind bei dem Manne damals ca. $4^1/_2$ H.E.D. (Oberflächendosis auf die Skrotalhaut) in 5 Teilbestrahlungen innerhalb knapp 3 Monaten appliziert worden. Wir wissen jetzt, daß diese Dosis sicher ausreicht, um

[1]) Es handelte sich um einen Sexualverbrecher, der zuerst aus eugenischen u. a. Gründen röntgensterilisiert — seine Frau wollte von diesem Manne keine Kinder mehr und erklärte sich unter der Bedingung einer Sterilisation des Ehegatten zur Aufrechterhaltung der Ehe bereit; anderseits erhoffte man von einem geregelten Sexualverkehr des Mannes eine Besserung seines Lebenswandels — und später, als er rückfällig wurde, kastriert worden war.

[2]) Es handelte sich hier um eine Sterilisation aus sozialen und eugenischen Gründen — bei einem 34 jährigen Imbezillen, der bereits 8 Kinder in die Welt gesetzt hatte.

dauernd zu sterilisieren. Dagegen wird diese Dosis wohl kaum die Mindestdosis der Dauersterilisation gewesen sein. Darin stimmen wir Markovits (1923) gerne zu. Aber es kam damals nicht auf einen wissenschaftlichen Versuch an, sondern auf die Lösung der uns gestellten ärztlichen Aufgabe, den Mann möglichst rasch und möglichst sicher dauernd zu sterilisieren und ihn im übrigen dabei nicht zu schädigen. Es traten weder lokale, noch allgemeine schädliche Nebenwirkungen auf — auch Libido und Potenz blieben unverändert — und der Mann wurde dauernd steril. Indessen würden wir heute in einem entsprechenden Falle, nachdem wir über die Erfahrung verfügen (siehe oben), daß mit einer einmaligen Applikation von 1 H.E.D. eine vollständige Hodenatrophie zu erzielen ist, 9 Wochen nach der Bestrahlung jedenfalls noch besteht, zunächst einmal diese Dosis applizieren — die in dem Lehrbuche von Jüngling, 1924,

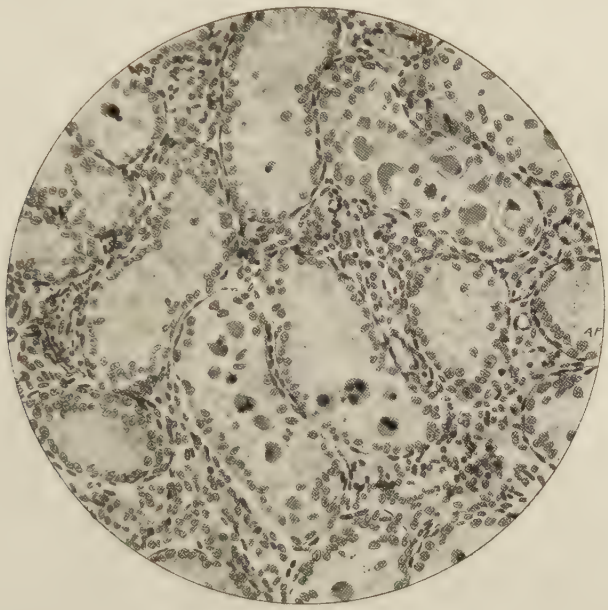


Abb. 22. Dasselbe Stadium, wie in Abb. 21, 25 Tage nach einmaliger Applikation von 15 H.E.D. (Prot. Nr. 21, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 40. Im Lumen der Samenkanälchen pyknotische Riesenzellreste als Zeichen dafür, daß die Depopulation seiner Zeit nicht allmählich, bloß durch Zerstörung der Spermiogonien, sondern unter nekrobiotischen Zerstörungsvorgängen auch an den übrigen Kategorien des Samenepithels erfolgte.

angegebene Dosis von 30% der H.E.D. halten wir, auch im Hinblick auf unsere Tierversuche, für zu niedrig — und den Effekt abwarten. Eventuell wäre dann noch nach eingetretener Azoospermie — ungefähr 2 Monate nach der ersten Bestrahlung — die Bestrahlung zu wiederholen, um den Effekt möglichst zu einem dauernden zu gestalten. Unbedingt erforderlich erscheint es uns aber — man möge im übrigen dosieren, wie man wolle —, während der Latenzzeit bis zum Eintreten der Azoospermie — über diese siehe S. 39 ff. — von dem Patienten strikten Kondomgebrauch bzw. die Anwendung eines Okklusivpessars bei der Frau zu verlangen, sofern in dieser Periode Kohabitationen stattfinden. Auf die Befruchtungsunfähigkeit der in dieser Periode vorhandenen Spermien, auf die Markovits hinweist, darf man sich nicht verlassen, nachdem neuerdings Lacassagne (1924) vom Gegenteil berichtet. Für den Fall, daß während dieser Zeit eine Konzeption eintreten sollte, wäre bei der Frau ein artifizieller Abort einzuleiten,

für den hier eine typische eugenische Indikation vorliegen würde. Denn wir können auf die genotypische Integrität dieser Spermien nicht mit Sicherheit rechnen, da das Experiment von Lacassagne (l. c.) nur die Intaktheit der Nachkommenschaft in der 1. Generation beweist. Aus dem gleichen Grunde scheinen uns temporäre Röntgensterilisationen beim Manne nicht weniger bedenklich als bei der Frau, und der Vorschlag von Markovits (1922), in geeigneten Fällen beide Teile abwechselnd zu sterilisieren, ist unseres Erachtens unbedingt abzulehnen. Temporäre Röntgensterilisierungen lehnen wir überhaupt ab. Eine Röntgensterilisierung kommt nur in Betracht, wenn sie dauernd sein soll. Wenn man aber diesen Zweck erreichen will, ist beim Manne die doppelseitige Vasektomie die Methode der Wahl, da sie momentan und restlos zu-

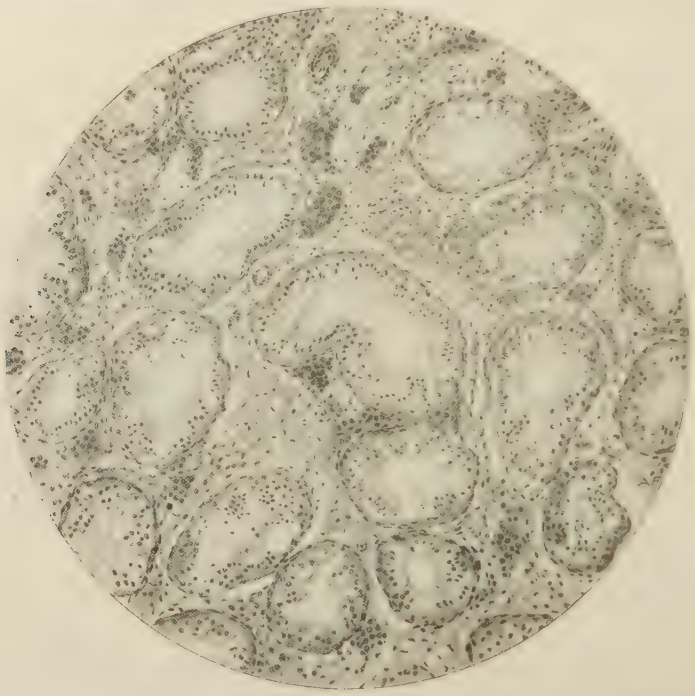


Abb. 23. Aus einem menschlichen Testikel, 9 Wochen nach Röntgensterilisation mit 1 H.E.D. Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 40. Komplette Röntgenatrophie mit Reduktion des Kanälcheninhaltes bis auf die Sertolizellen.

verlässig wirkt. Für die Röntgensterilisation bleiben als Anwendungsgebiet beim Manne nur die Fälle, wo eine dauernde Sterilisierung gewünscht wird, ein operativer Eingriff aber aus irgendeinem Grunde nicht am Platze oder nicht möglich ist.

Die verschiedenen Stadien der Restitution — Wiederauftreten von Spermiogonien, von Synapsen, von Spermiozyten im Spiremstadium, Reifeteilungen, von Spermiden und schließlich von Spermien — verstehen sich von selber und entsprechen im morphologischen Bilde vollkommen verschiedenen Stadien der präpuberalen Entwicklung des Hodens, nur daß der Prozeß natürlich viel schneller verläuft. Interessant wäre nur eine genauere zeitliche Fixierung dieser einzelnen Stadien, wir verfügen zur Zeit nicht über entsprechendes Beobachtungsmaterial, nehmen uns aber vor, der Sache näherzutreten, da man sich fragen kann, ob nicht die Dauer der einzelnen Restitutionsstadien einen Anhaltspunkt für die normale Dauer der betreffenden Entwicklungsstufen des Samen-

Tabelle 1. Dosierungs- und Zeittabelle der einmal bestrahlten Kaninchen.

Sämtliche Bestrahlungen wurden von der Bauchseite her bei einem Fokushautabstand von 23 cm ausgeführt bei einer Röhrenbelastung von 2,5 mA., einer Feldgröße von 6 × 8 cm und der Spannung 7 (36 cm Parallelfunkenstrecke) bei Filtrierung und der Spannung 3 (27 cm Parallelfunkenstrecke) ohne Filtrierung.

Kaninchen Nr.	Dosis in H.E.D.	Dosis in R.	Bestrahlungsdauer in Min.	Filter	Kastration in Stunden (St.) oder Tagen (T.) nach Bestrahlung			
					rechts	Abb.	links	Abb.
1	2	1200	70	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	4 T.	24	10 T.	6, 7, 8, 9, 10, 11
2	2	1200	70	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	15 T.		30 T.	35
3	4	2400	140	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3 T.	32 a	37 T.	14, 15
4	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	25 T.	12, 13, 16, 17, 19	30 T.	
5	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	50 T.			
9	2	1175	30	3 mm Al.	33 T.		41 T.	
10	3	1764	45	3 mm Al.	34 T.	36	38 T.	27
11	4	2350	60	3 mm Al.	35 T.		42 T.	
12	6,5	4030	60		⅓ St.		2½ St.	
13	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	15 T.		20 T.	
14	15	9050	135		3 T.		10 T.	
15	4	2350	60	3 mm Al.	30 T	28	66 T.	
16	4	2350	60	3 mm Al.	28 T.		35 T.	16, 29
17	30	18100	270		5 T.		16 T.	
18	30	18100	270		2½ T.	2, 32 b	4 St.	31 c
19	45%	257	15	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	11 T.		32 T.	
20	10%	60	3,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	11 T.	18		
21	15	9050	135		2 St.		25 T.	22, 30
26	30	18100	270		3 T.		21-T.	
27	15	9050	135		2 St.	1, 31 b		
28	2	1200	70	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	1/10 St.	25, 31 a	3 St.	
33	50	30200	450		2 T.	3	4 T.	4

epithels bei der normalen Spermiogenese bieten könnte. Regaud hat die Dauer der Depopulation benutzt, um daraus die normale Dauer eines ganzen spermiogenetischen Zyklus zu erschließen. Vielleicht könnte ein genaueres Studium der Repopulation einen Rückschluß auf die Dauer der einzelnen Phasen dieses Prozesses ermöglichen.

III. Der Einfluß der Dosis.

Die Hodenbestrahlungen, über die wir in dieser Arbeit berichten, wurden am Spezialtiefentherapieapparat von Siemens & Halske mit Ölinduktor ausgeführt. Als Meßinstrument diente der in der physikalisch-technischen Reichsanstalt (P.T.R.) in absoluten Einheiten R. geeichte Siemens-Röntgen-Dosismesser.

Auf Grund der an einem großen Patientenmaterial für verschiedene Betriebsbedingungen biologisch an der Bauchhaut ermittelten H.E.D.-Zeiten, wie sie im täglichen röntgentherapeutischen Betrieb verwendet wurden, haben wir mit dem geeichten Dosismesser für nachfolgende Betriebsbedingungen:

1. F.H. 23 cm, Feldgröße 6 : 8 cm, Spannung 36 cm Parallelfunkenstrecke, 2,5 M.A. 0,5 mm Zink + 1 mm Al. — biologisch ermittelte H.E.D.-Zeit 35 Min.
2. F.H. 23 cm, Feldgröße 6 : 8 cm, Spannung 36 cm Parallelfunkenstrecke, 2,5 M.A. 3 mm Al. — biologisch ermittelte H.E.D.-Zeit 15 Min.
3. F.H. 23 cm, Feldgröße 6 : 8 cm, Spannung 24 cm Parallelfunkenstrecke, 2,5 M.A. ohne Filter — biologisch ermittelte H.E.D.-Zeit 9 Min.

in absoluten Einheiten **600 R.** gefunden.

Um Vergleiche mit anderen Kliniken zu ermöglichen und um eine absolut genaue Reproduktion der Versuchsbedingungen wieder herstellen zu können, geben wir deshalb außer der biologischen Dosisangabe jeweils auch die Werte in R. an (vgl. Tabelle 1 und 2).

N.B. Bei den großen Dosen, von 4 H.E.D. an, traten im Laufe der nächsten Wochen an der Bauchhaut und Skrotalhaut Epilation und Verbrennung 1. Grades auf, verbunden mit Ödem des äußeren Genitale. Bei Dosen von 15 H.E.D. an trat schon innerhalb der ersten Tage ein enormes Penis- und Skrotalödem auf, und in den folgenden Tagen schwerste Röntgenverbrennungen. Auch die Muskulatur wurde bei diesen Dosen geschädigt, und nach Wochen konstatierte man Bindegewebswucherungen.

Über die in den verschiedenen Gewebstiefen vorhandenen Dosen geben die nachfolgenden Abschwächungskurven Auskunft (s. Abb. 23a):

Abschwächungskurven.

Die nachstehenden Abschwächungskurven sind in einem Wasserphantom aufgenommen worden, geben also ungefähr die Verhältnisse wieder, wie sie im menschlichen Körper vorhanden sind. Bei Bestrahlung von Kaninchen oder Ratten usw., deren Volumen bedeutend geringer ist, wird dementsprechend der Streuzusatz ebenfalls geringer sein, die aus den Kurven abzulesenden Tiefendosen in Wirklichkeit also wohl auch etwas geringer, infolge des verminderten Streuzusatzes. Da die Abweichungen aber erst sich in größeren Tiefen stärker bemerkbar machen dürften, haben wir auf Messungen im kleinen Wasserphantom verzichtet.

Tabelle 2. Dosierungs- und Zeittabelle der mehrmals bestrahlten Kaninchen.

1. Bestrahlung					2. Bestrahlung					3. Bestrahlung					Kastration in Tagen nach erster u. letzter ( ) Bestrahlung	
Kaninchen Nr.	Dosis in H.E.D.	Dosis in R.	Bestrahlungsdauer in Minuten	Filter	Tage nach d. 1. Bestrahlung	Dosis in H.E.D.	Dosis in R.	Bestrahlungsdauer in Minuten	Filter	Tage nach d. 2. Bestrahlung	Dosis in H.E.D.	Dosis in R.	Bestrahlungsdauer in Minuten	Filter	rechts	links
6	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	76	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.						52 (—)	112 (36)
7	2	1200	70	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	74	2	1200	70	0,5 mm Zink und 1 mm Al.						50 (—)	112 (38)
8	3	1800	105	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	75	3	1800	105	0,5 mm Zink und 1 mm Al.						50 (—)	114 (39)
22	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	2	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	16 (11)	25 (20)
23	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	2	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	20 (15)	30 (25)
24	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	66⅔%	394	23	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	2	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	10 (5)	13 (8)
25	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	66⅔%	394	23	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	2	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	16 (11)	25 (20)
29	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	18 (12)	30 (24)
30	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	18 (12)	36 (30)
31	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	66⅔%	394	23	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	18 (12)	31 (25)
32	33⅓%	197	11,5	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	66⅔%	394	23	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	3	1	600	35	0,5 mm Zink und 1 mm Al.	16 (10)	36 (30)

Es versteht sich von selbst, daß die in den Protokollen und in den Tabellen in H.E.D. und R. angegebenen Dosen sich auf die Oberfläche beziehen, daß also der beim Kaninchen gewöhnlich intraabdominell liegende Hoden etwas weniger erhalten hat, je nach der Tiefe, in der er sich befand. Der prozentuale Anteil in den verschiedenen Gewebstiefen ist den obenstehenden Abschwächungskurven zu entnehmen.

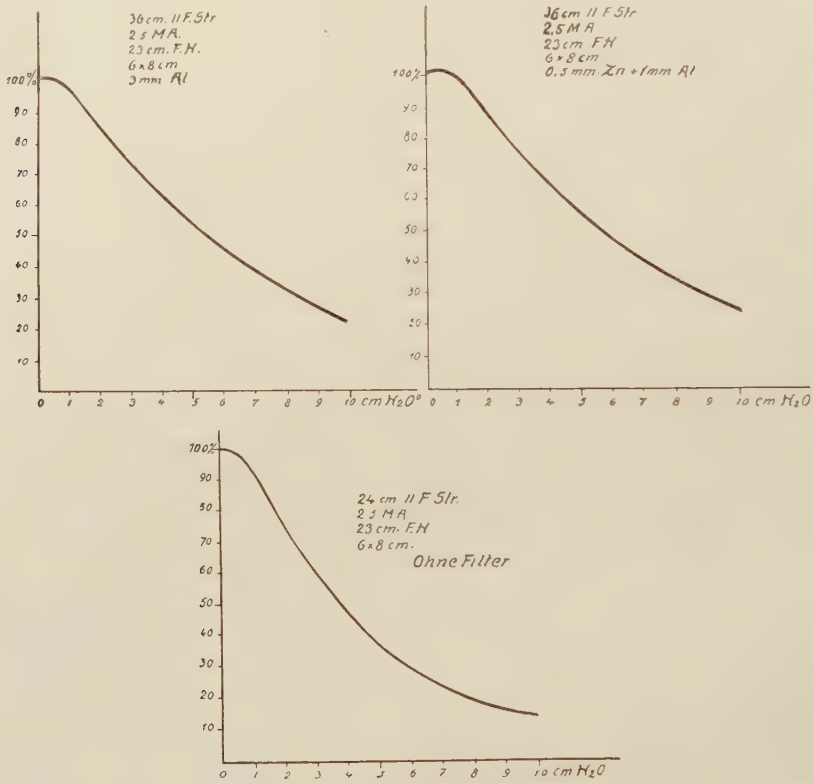


Abb. 23a. Abschwächungskurven.

1. Verschieden starke Dosen bei einmaliger Bestrahlung.

Was wir über die Wirkungsweise verschiedener Dosen bei der Röntgenatrophie des Hodens beobachten konnten, ist nach zwei Richtungen hin von Wichtigkeit. Einmal verschaffen uns die gewonnenen Resultate einen besseren Einblick in das Wesen der Vorgänge und geben zugleich gewisse Anhaltspunkte für die praktisch-medizinische Frage der Röntgensterilisation des Mannes. Anderseits aber bilden diese Resultate eine Erklärung für die verschiedenen und zum Teil sich widersprechenden Angaben der Autoren über den Verlauf der Prozesse.

Es besteht eine außerordentlich klare Proportionalität zwischen Dosis und Effekt auf unserem Gebiete, eine Proportionalität, die eine der wesentlichen Eigentümlichkeiten der Strahlenwirkung ausmacht. Die Röntgenstrahlen wirken nicht, wie man auch in neuerer Zeit noch gelegentlich gemeint hat (z. B. Petry 1913), spezifisch. Sie zeichnen sich vor anderen Agenzien nur durch die Tiefenwirkung und durch ihre feine Dosierbarkeit aus (vgl. Schinz, 1924). Diese feine Dosierbarkeit ermöglicht nicht

nur die therapeutische Verwendung der Röntgenenergie, sondern ermöglicht es auch, sie in den Dienst theoretisch-biologischer Fragen zu stellen. Sensibilitätsdifferenzen lassen sich nur ermitteln, wenn man geringe Reize anwendet, das ist ja ohne weiteres verständlich.

Wenn wir uns nun die Frage stellen, welches die empfindlichsten Elemente des Samenepithels sind, so kann uns eine Bestrahlung mit einer mäßigen Dosis, die gerade ausreicht, um diese Elemente zu schädigen, darüber Aufschluß geben.

Die geringste, wenigstens indirekt faßbare Schädigung, die einer Zelle zugefügt werden kann, ist die vorübergehende Aufhebung ihrer Teilungsfähigkeit. Eine solche Schädigung zeigt sich an den Spermiogonien des Kaninchenhodens nach einmaliger Bestrahlung mit 10% der H.E.D (siehe S. 467). Die übrigen Kategorien des Samenepithels werden dabei auch in ihrer Teilungsfähigkeit nicht geschädigt. Der Vorgang zeigt uns dreierlei: 1. Er demonstriert uns in prächtiger Weise die elektive Wirkung der Röntgenstrahlen. 2. Er lehrt uns, daß die Spermiogonien die empfindlichsten Elemente des Samenepithels sind und 3. daß es so wie bei anderen Zellen auch bei ihnen möglich ist, durch eine passend gewählte Dosis lediglich die Teilungsfähigkeit aufzuheben bzw. herabzusetzen, ohne die Zelle selbst zu vernichten.

Diese Grenze ist bei Bestrahlung eines Kaninchenhodens mit 45% der H.E.D. überschritten, insofern, als diese Dosis bereits einen Teil der Spermiogonien, sagen wir die Hälfte, abtötet.

Noch stärkere Dosen, 1, 2, 3 H.E.D., töten fast sämtliche Spermiogonien direkt ab. Das ist aber die einzige direkt nekrotisierende Wirkung, die sie am Samenepithel entfalten. Die anderen Kategorien desselben lassen sie unversehrt, höchstens setzen sie ihre Teilungsgeschwindigkeit etwas herab.

Bis zur Zerstörung der Spermiogonien vergeht eine gewisse Latenzzeit. Diese zählt bei den genannten Dosen 1—3 H.E.D. nach Tagen. 3 Stunden nach einer Bestrahlung mit 2 H.E.D. ist im histologischen Bilde noch keinerlei Veränderung an den Spermiogonien zu erkennen. 4 Tage nach der Bestrahlung sind sie fast sämtlich verschwunden.

Entsprechend der strengen Proportionalität zwischen Dosis und Effekt vermindert sich nun diese Latenzzeit ganz erheblich, wenn wesentlich größere Dosen appliziert werden. So kann man bereits 2 Stunden nach Beendigung einer Bestrahlung mit 15 H.E.D. die Spermiogonien teilweise in voller Nekrobiose antreffen. Werden aber 30 H.E.D. appliziert, so findet man schon 4 Stunden nach der Bestrahlung Spermiogonienleichen in beträchtlicher Zahl, und darüber hinaus hat die Nekrobiose auch schon auf die Spermiozyten übergegriffen.

Die Dosis von 4 H.E.D. erwies sich in unseren Versuchen als eine Grenzdosis insofern, als die nach Applikation von Dosen unter 4 H.E.D. regelmäßig unmittelbar im Anschlusse an die Depopulation eintretende und spätestens 9 Wochen nach der Bestrahlung vollendete vollständige Restitution des Hodens nach Bestrahlung mit 4 H.E.D. in der Regel unterblieb. Diese Dosis ist aber eine Grenzdosis auch insofern, als die direkte Degeneration hier nicht mehr allein auf die Spermiogonien beschränkt bleibt, sondern auch bereits auf die übrigen Kategorien des Samenepithels übergreift.

Viel ausgeprägter ist diese Erscheinung aber, wenn größere Dosen — in unseren Versuchen 15 und 30 H.E.D — angewandt werden. Wir sagten schon, daß nach Bestrahlung mit 30 H.E.D. bereits 4 Stunden nachher Veränderungen an den Spermiozyten wahrzunehmen sind. Diese äußere sich zum Teil in dem Aussehen der Zellen, zum Teil darin, daß sie den Wandbelag verlassen und ins Lumen desquamiert werden.

Letztere Erscheinung ist 4 Stunden nach Applikation von 30 H.E.D. bereits auch an den Spermiden wahrzunehmen. $2^1/_2$—3 Tage nach Bestrahlung mit 30 H.E.D. haben diese Veränderungen erhebliche Fortschritte gemacht. Die Spermiozyten sind durchwegs in voller Degeneration. Man sieht sehr viele Spermiozytenleichen. Die Desquamation, die auch die Spermiden betrifft, hat weiterhin zugenommen. Diese Vorgänge führen dazu, daß 5 Tage nach der Bestrahlung der Wandbelag der Samenkanälchen zum größten Teile nur noch aus Sertolizellen gebildet wird.

Während also bis zur vollkommenen Leerung der Samenkanälchen und bis zum Eintreten eines Zustandes, der einer Atrophie 4. Grades entspricht, bei einer Bestrahlung mit Dosen von 1–4 H.E.D. etwa ca. 4 Wochen verstreichen, tritt dieser Zustand nach Applikation von 30 H.E.D. bereits nach 5 Tagen ein. Und was noch wichtiger ist: Bei den erstgenannten kleineren Dosen kommt dieser Zustand lediglich durch eine elektive Vernichtung der Spermiogonien zustande, während die übrigen Kategorien des Samenepithels ihre normale Entwicklung vollziehen: bei den großen Dosen, wie etwa von 30 H.E.D., hingegen geht das ganze Samenepithel direkt nekrobiotisch zugrunde.

Nekrobiose des Samenepithels bei Persistenz der Sertolizellen führt immerhin nicht zur Hodennekrose, sondern nur zur Hodenatrophie. (Über diese Begriffe siehe Schinz und Slotopolsky, 1924.) Es ist aber auch möglich, durch die Röntgenstrahlen eine eigentliche Hodennekrose zu erzeugen: Also nicht Leerung der Kanälchen unter allmählicher Nekrobiose des Samenepithels und Persistenz der Sertolizellen und der Zwischenzellen, sondern fast „momentane" Verflüssigung oder Erstarrung des gesamten Kanälcheninhaltes mit früher oder später darüber hinaus auch eintretendem Untergange der Zwischenzellen. Dieser Effekt tritt, wie wir gesehen haben, 2—4 Tage nach einer einmaligen Bestrahlung mit 50 H.E.D. ein. Während nach Applikation von 30 H.E.D. z. B. ein zwar irreparabel atrophisches, aber immerhin doch noch lebendes Organ zurückbleibt, so schafft die Dosis von 50 H.E.D. ein totes Gebilde.

Der verschiedene Effekt der Dosen unter und über 4 H.E.D. erklärt unserer Ansicht nach den scheinbaren Widerspruch zwischen der Schilderung der Regaudschen Schule, die bei der Röntgenatrophie eine elektive Zerstörung der Spermiogonien in den Vordergrund stellt und von einer Leerung der Kanälchen bei der Röntgenatrophie des Hodens ohne nennenswerten nekrobiotischen Zerfall von Samenepithel als der typischen Verlaufsweise und damit von einer gewissen Sonderstellung der Röntgenatrophie des Hodens berichtet und den Befunden insbesondere von Kyrle (1911) und Thaler (1905), nach denen die Röntgenatrophie des Hodens von den anderen Hodenatrophien in ihrem Verlaufe in keiner Weise verschieden zu sein scheint und ebenfalls durch einen massenhaften Zerfall von Samenepithelien, durch direktes Zugrundegehen nicht nur der Spermiogonien, sondern namentlich auch der Spermiozyten und Spermiden unter Desquamation und Riesenzellbildung charakterisiert wird. Wir legen zur Lösung dieses scheinbaren Widerspruches kein Gewicht darauf, daß Thaler mit Radium bestrahlt hat, denn die Radiumwirkung kommt ja, wie man heute weiß, der Röntgenwirkung in jeder Beziehung gleich, und Kyrle berichtet ja überdies Ähnliches, wie Thaler, von Röntgenbestrahlungen des Hodens. Aber wir glauben, daß der ganze scheinbare Widerspruch dadurch bedingt ist, daß jedenfalls den betreffenden Befunden von Regaud und seinen Mitarbeitern Dosen zugrunde liegen, die der Applikation von 1—4 H.E.D. in unseren Versuchen entsprechen, daß aber Kyrle und Thaler Dosen appliziert haben, die von ähnlicher Stärke waren wie die Applikation von 15—30 H.E.D., jedenfalls von höheren Dosen als 4 H.E.D., in unseren Versuchen. Kyrle berichtet charakteristischerweise von Dermatitiden, die ausnahmslos 10—14 Tage nach der Bestrahlung im Bereiche der bestrahlten Partien aufgetreten seien und die gelegentlich sogar zu tiefgreifenden Ne-

krosen der Haut geführt hätten. Diese Erscheinungen haben wir in unseren Versuchen aber nur bei Bestrahlungen mit Dosen über 4 H.E.D. gesehen. Hieraus erklärt sich die Schilderung von Kyrle, nur macht er den Fehler, seine Beobachtungen zu verallgemeinern und als die typische Verlaufsweise der Röntgenatrophie zu betrachten. Erster Effekt der Gewebsschädigung infolge der Bestrahlung ist seiner Meinung nach stets ein Sistieren der Spermiohistogenese (d. h. der Umwandlung der Spermiden in Spermien; Kyrle gebraucht dafür den Ausdruck Spermiogenese, der heute zur Bezeichnung dieses Vorganges nicht mehr üblich ist und in einem viel weiteren Sinne gebraucht wird, nämlich zur Bezeichnung der gesamten Entwicklungsvorgänge von der Spermiogonie bis zum Spermium). Diese Erscheinung gehe zeitlich allen anderen Degenerationsvorgängen voraus. „Offenbar ist das Zellplasma der Spermatiden (in unserer Ausdrucksweise Spermiden) im höchsten Grade gegen die einwirkende Noxe empfindlich. Es verliert allem Anschein nach recht rasch die Fähigkeit, weitere Umwandlungen durchmachen zu können, ohne daß dies zunächst durch direkt morphologisch nachweisbare Veränderungen am Zellplasma oder am Kern ausgedrückt wäre." Diese Darstellung, die den Eindruck erweckt, als ob die Vorgänge bei der Röntgenatrophie genau so verlaufen wie bei den typischen Hodenatrophien, durch Ernährungsstörungen oder nach Vasoligatur (Schinz und Slotopolsky, 1924, Bouin, 1897), ist durchaus irrig. Selbst für die großen Dosen, mit denen Kyrle gearbeitet hat, trifft sie nicht zu. Auch hier ist der erste Effekt der Bestrahlung der, wie wir gesehen haben, unter Umständen bereits nach einigen Stunden sich einstellende Untergang der Spermiogonien. Die Spermiden aber sind gerade die relativ am wenigsten empfindlichen Elemente des Samenepithels, und zu einem Sistieren der Spermiohistogenese kommt es nur bei Anwendung so hoher Dosen, die auch die Spermiden schwer schädigen. Aber es gibt, wie wir gesehen haben, auch Dosen, die eine vollkommene Atrophie herbeiführen können, ohne die fortwährende Neubildung von Spermien während der Depopulationszeit von 3—4 Wochen zu inhibieren. Simmonds wird wohl auch mit ähnlichen Dosen gearbeitet haben wie Regaud, denn er erklärt, daß sich die Degeneration des Samenepithels nicht gut verfolgen lasse, daß aber dann plötzlich nach ca. 4 Wochen die komplette Atrophie mit Reduktion des Wandbelages bis auf die Sertolizellen da sei. Diesen Zeitraum betrachtet er als Latenzzeit der Strahlenwirkung. Nach unseren bisherigen Darlegungen dürfte es aber klar sein: Auch in den Versuchen von Simmonds ist es sicherlich in den ersten Tagen nach der Bestrahlung zu einer elektiven Zerstörung der Spermiogonien gekommen, einem äußerlich unscheinbaren Ereignis, das Simmonds entgangen sein dürfte (vgl. Abb. 24 u. 25). Und hieran schloß sich dann eine allmähliche Depopulation im Laufe von 3—4 Wochen, wobei nur an der Qualität des Wandbelages der im übrigen gut gefüllten Samenkanälchen die schwere Alteration des Organes zu erkennen ist. „Comme ces constatations échappent aisément à tout oeil non particulièrement exercé, on peut bien dire qu'il s'agit là d'une lésion latente." Diese im Hinblick auf die Früheffekte mäßiger Bestrahlungen gemachte Äußerung von Blanc (1906) hat eine gewisse Geltung auch für die sich anschließende Depopulationsperiode. Erst nach Abschluß derselben, d. h. ca. 4 Wochen nach der Bestrahlung, trat dann in den Versuchen von Simmonds der von ihm als „plötzlich" bezeichnete Effekt ein, der auch bei bloß quantitativer Betrachtung des Wandbelages der Kanälchen ins Auge springt. Auch Bergonié und Tribondeau (1902—1906) sind wie Kyrle (1911) im Irrtum, wenn sie eine Verlaufsweise, die dem gewöhnlichen Ablauf der Hodenatrophie, z. B. nach Vasoligatur, entspricht, auch als die typische Verlaufsweise der Röntgenatrophie des Hodens bezeichnen. Die Regaudsche Schule hat das seinerzeit bereits gebührend betont (siehe z. B. Blanc, 1906). Immerhin räumen Bergonié und Tribondeau in ihrer letzten Arbeit (1906) ein, daß nicht alle Zellen des

Samenepithels nekrobiotisch zugrunde gehen, und daß sie, je näher sie dem Stadium des Spermiums sind, um so mehr „Chance" haben, dem Untergang zu entgehen und ihre Entwicklung zu vollenden — eine nicht ganz klare Darstellung. Unklar in dieser Beziehung ist auch die Darstellung von Herxheimer und Hoffmann (1908). „Die zuerst geschädigten Samenzellen sind die Spermatogonien und Spermatozyten, in geringerem Maße die Spermatiden. Gleich hiermit bilden sich die Spermatiden nicht mehr in Spermatozoen um, und die Spermatogenese erlischt überhaupt." Aus den Einzelbefunden Hoffmanns aber — er findet z. B. 14 Tage nach Abschluß der Bestrahlung die Spermiogonien sehr vermindert und zahlreiche Kanälchen lediglich von Sper-

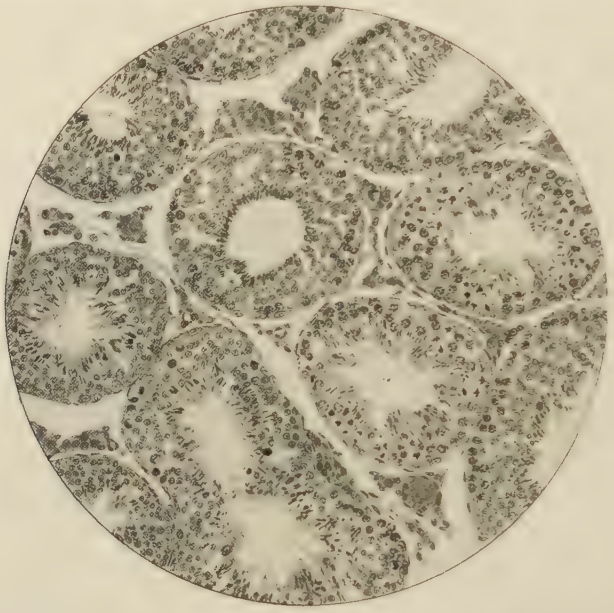


Abb. 24. Röntgenhoden während der Depopulationsperiode. Aus einem mit 1 H.E.D. einmalig bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 1, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 40. Fixation Carnoy. Die noch gut gefüllten Samenkanälchen erscheinen „scheinbar" normal. Der Hoden befindet sich aber in voller Depopulation. In allen Kanälchen fehlen die Spermiogonien. Im übrigen sieht man die Depopulationsstadien I bis V. Direkt pathognomonisch sind die beiden Kanälchen rechts im Bilde: Inhalt nur aus Sertolizellen, Spermiden, die bis auf die Membrana propria reichen und Spermien bestehen (Depopulationsstadium V). Die hellen Lücken zwischen den einzelnen Samenkanälchen sind Kunstprodukte durch Schrumpfung.

miden erfüllt, die hier bis auf die Sertolizellen hinabreichen, also unser Depopulationsstadium V[1]) — schließen wir, daß es sich auch in seinen Versuchen im allgemeinen um mäßige Dosen und demgemäß um einen typischen Verlauf der Röntgenatrophie in unserem Sinne gehandelt hat. Allerdings wird durch die außerordentliche Verzettelung der Dosen in den Versuchen Hoffmanns — er bestrahlte z. B. 1 oder 2 Wochen lang jeden Tag 15 Minuten — die ganze Situation sehr kompliziert.

Wir gestatten uns nunmehr das über die Wirkung verschiedener Dosen bei einmaliger Applikation Gesagte in einer kleinen Tabelle (3) zusammenzufassen. In dieser bedeutet Spg. Spermiogonien, Spc. Spermiozyten. Über die einzelnen Depopulationsstadien vergleiche man den betreffenden Abschnitt dieser Arbeit. Bezüglich des Begriffes Atrophie 4. Grades siehe S. 450.

[1]) Die von uns bei der Röntgenatrophie unterschiedenen Depopulationsstadien sind auf S. 457 ff. dieser Arbeit aufgeführt.

2. Einmalige und fraktionierte Bestrahlung.

Das Interesse, das heute in der praktischen Strahlentherapie der Frage: einmalige Intensivbestrahlung oder fraktionierte Bestrahlung mit kleinen Dosen (bzw. Dauerbestrahlung bei Radium) entgegengebracht wird, veranlaßte uns auch einige Versuche in dieser Richtung zu unternehmen. Bei einer Reihe von Versuchstieren haben wir die 100 bzw. 200% der H. E. D., die wir bei anderen auf einmal verabfolgten, in 3 Teildosen mit Intervallen von 2—3 Tagen, also insgesamt innerhalb einer Woche appliziert, und zwar 3 Teildosen zu je 33⅓% der H. E. D. in den Fällen, in denen wir einen Vergleich mit dem Effekt einer einmaligen Applikation von 100% der H. E. D. haben wollten, und 3 Teildosen zu je 33⅓%, 66⅔% und 100% der H. E. D. in den Fällen, die uns als Vergleich mit dem Effekt dienen sollten, den die einmalige Applikation von 200% der H. E. D. bewirkt.

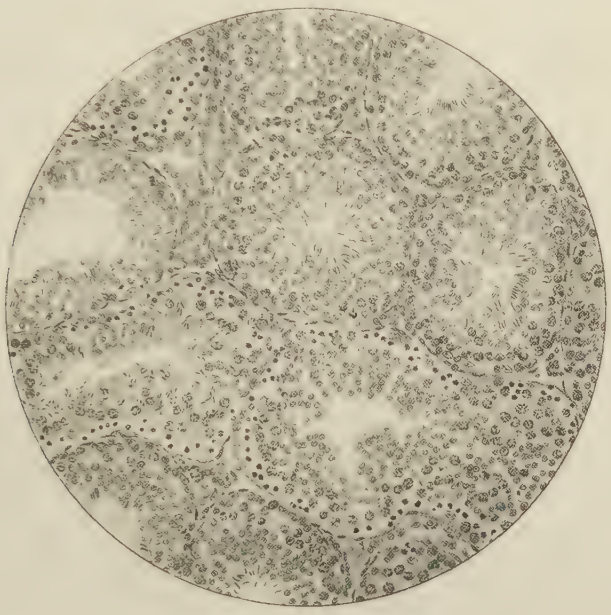


Abb. 25. Übersichtsbild durch einen normalen Kaninchenhoden bei Stieve-Fixation. Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 40. Man beachte die tadellose Konservierung, insbesondere die Abwesenheit aller artifizieller Lücken im Gegensatz zum Präparat Abb. 24, wo mit Carnoyschem Gemisch fixiert und mit den übrigen Methoden weiterbehandelt worden war.

Beginnen wir mit dem Resultat dieser letzteren Versuchsserie: 16 Tage nach der ersten, bzw. 10 Tage nach der letzten Bestrahlung finden wir hier in den betreffenden Testikeln die Depopulationsstadien[1]) III bis VII (Prot. Nr. 32, r.) V bis VIII (Prot. Nr. 31, r.), VI bis VIII (Prot. Nr. 25, r). Dem gegenüber finden wir 10 Tage nach einmaliger Applikation der ganzen Dosis von 2 H. E. D. im Testikel die Depopulationsstadien I bis V (Prot. Nr. 1, l.), 15 Tage nach solcher Bestrahlung die Depopulationsstadien V bis VIII (Prot. Nr. 2, r.).

Je nachdem wir nun den Effekt der fraktionierten Bestrahlung mit dem der einzeitigen entsprechend einem von der ersten oder einem von der letzten der Teilbestrahlungen gerechneten Intervall vergleichen, fällt das Resultat verschieden aus: 16 Tage nach der ersten der Teilbestrahlungen, bei der ja nur 33⅓% der H. E. D. appliziert wurden, finden wir bereits die Depopulationsstadien III bis VIII, d. h. einen Effekt, der dem 15 Tage nach Applikation der ganzen Dosis d. h. 200% der H. E. D. im ganzen (bei Prot. Nr. 31, r. und 25, r. sogar vollkommen) gleichkommt. Danach scheint die fraktionierte Bestrahlung wirksamer gewesen zu sein, als die einzeitige. Wir müssen aber bedenken, daß bereits bei der ersten Teilbestrahlung 33⅓% der H. E. D. verabreicht wurden; wenn wir uns nun erinnern, daß 10% der H. E. D. bereits genügten, um eine Depopulation zu bewirken und daß

[1]) Die von uns bei der Röntgenatrophie unterschiedenen Depopulationsstadien sind auf S. 460ff dieser Arbeit aufgeführt.

Tabelle 3. Röntgeneffekt nach einmaliger Bestrahlung.

Bestrahlung mit	Nach einigen Stunden	Nach ca. 2 Tagen	Nach ca. 4 Tagen	Nach ca. 10 Tagen	Nach ca. 25 Tagen	Nach ca. 30 Tagen	Nach ca. 50 Tagen
10% H.E.D.				Teilungsstillstand d. Spg. Depopul. Vielfach bis Stad. VIII			
45% H.E.D.				Spg. teils zerstört, teils gelähmt. Depopul. bis Stad. V		Restitutio ad integrum	
100% H.E.D.				Spg. zum Großteil zerstört. Depopulationsstadien I—V	Depopulationsstadien VI—VIII. Beg. Restitution (wieder viel Spg.)	Depopulationsstadien VII u. VIII. Beg. Restitution (wieder viel Spg.)	Restitutio ad integrum
200% H.E.D.	Keine Veränderungen a. d. Spg. sichtbar		Spg. verschwunden	Depopulationsstadien I—V		Depopulationsstadien VII u. VIII. Beg. Restitution (wieder viel Spg.)	Restitutio ad integrum
300% H.E.D.						Depopulationsstadien VII u. VIII. Beg. Restitution: Spg. u. Synapsen.	Restitutio ad integrum
400% H.E.D.			Spg. verschwunden. Teilweise Degen. der Spc. Beg. Depopul.			Vollkommene Depopul.-Atrophie 4. Grades. An d. Haut Epilation u. Röntgenverbrennung	Dauernde Atrophie 4. Grades.
650% H.E.D.	Keine Veränderungen a. d. Spg.						
1500% H.E.D.	Nekrobiose d. Spg.	Spg. verschwunden		Depopulationsstadien I—VI.	Atrophie 4. Gr. Kein Anzeichen e. Restit.		

Bestrahlung mit	Nach einigen Stunden	Nach ca. 2 Tagen	Nach ca. 4 Tagen	Nach ca. 10 Tagen	Nach ca. 25 Tagen	Nach ca. 30 Tagen	Nach ca. 50 Tagen
3000% H.E.D.	Ausgedehnte Nekrobiose d. Spg. Beg. Nekrobiose d. Spc. Beg. Desquamation d. Samenepithels	Spg. verschwunden. Ausgedehnte Nekrobiose d. Spc. u. Desquamation d. Samenepithels	Meist Atrophie 4. Grades		Z. T. Hodennekrose mit Verkalkung, z. T. Atrophie mit intratubulärer Verkalkung und starker intertubulärer Bindegewebswucherung. Atrophische Kanälchen eng mit einschichtigem Epithel		
5000% H.E.D.		Komplette Nekrose des Hodens. Alle Kategorien d. Samenepithels zerstört. Beg. Degen. auch d. Zwischenzellen	Komplette Nekrose des Hodens. Alle Kategorien des Samenepithels zerstört. Beg. Degen. auch d. Zwischenzellen				

nach Applikation von 45% der H. E. D. diese Depopulation in ihrem Verlauf bereits beträchtliche Ähnlichkeit mit der nach Verabreichung von 1 und 2 H. E. D. eintretenden aufwies, so erscheint durch den Ausfall des Versuches ein Beweis für die größere Wirksamkeit fraktionierter Bestrahlung doch nicht erbracht. Ebensowenig werden wir einen solchen aus der scheinbar noch wichtigeren Tatsache ableiten können, daß 11 Tage nach Verabreichung von 2 H. E. D. in 3 Portionen ein bedeutend stärkerer Effekt zu beobachten ist (Depopulationsstadium III bis VIII), als 10 Tage nach Verabreichung derselben Dosis in einer Portion (Depopulationsstadium I bis V). Es dürften eben bei diesen Versuchen sowohl die angewandte Gesamtdosis, wie die Teildosen zu groß gewesen sein, um ein wirkliches Experimentum crucis für die Frage nach der verschiedenen Wirksamkeit einzeitiger oder mehrzeitiger Bestrahlungen zu sein. Es kommt auch noch eine gewisse individuelle Variabilität im Verlaufe der Depopulation hinzu, wie uns weitere Versuche dieser Art gelehrt haben. Aber eines beweisen die Versuche doch immerhin, nämlich, daß der Effekt bei fraktionierter Bestrahlung keineswegs geringer zu sein braucht als bei einzeitiger. Eine Verzettelung der Dosen lag in unseren Fällen jedenfalls nicht vor.

Werfen wir noch kurz einen Blick auf die übrigen Resultate der entsprechenden Versuche. Zunächst noch einige Versuche mit 2 H. E. D. einzeitig oder in 3 Teildosen. 25 Tage nach Applikation der ersten Teildosis, bzw. 20 Tage nach Applikation der letzten finden wir Depopulationsstadium VII bis VIII (Prot. Nr. 31, l.) und Depopulationsstadium VIII (Prot. Nr. 25, l.). 35 Tage nach der ersten bzw. 30 Tage nach der letzten Bestrahlung aber finden wir hier ebenfalls Depopulationsstadium VII bis VIII (Prot. Nr. 32, l.). 30 Tage nach einer einmaligen Ganzbestrahlung mit 2 H. E. D. finden wir Depopulationsstadium VIII (Prot. Nr. 2, l.). Die Resultate zeigen, wie die oben besprochenen, daß die fraktionierte Bestrahlung den gleichen Effekt hatte wie die einzeitige und daß im übrigen individuelle Schwankungen im Verlaufe vorkommen. Diese könnten allerdings bei einem Versuchstier wie dem Kaninchen, bei dem die Testikel durch den zeitlebens weit offenen Leistenkanal jederzeit auf dem Skrotum in die Bauchhöhle hinaufgezogen werden können, überhaupt ihre Lage fortwährend beträchtlich verändern können, auch durch solche Lageveränderungen während der Bestrahlung erklärt werden, ohne daß wir auf eine verschiedene Resistenz des bestrahlten Organes bei verschiedenen Individuen zurückzugreifen brauchten. Immerhin haben wir durch Anwendung einer möglichst genügenden Feldgröße die genannte Fehlerquelle auszuschalten getrachtet.

Die Versuche mit einzeitiger und fraktionierter Bestrahlung mit insgesamt 100% der H. E. D. ergaben ein prinzipiell gleiches Resultat, wie die mit 200% der H. E. D. Daß man bei außerordentlich langen Intervallen eine Verzettelung der Dosis feststellen kann, ist wohl ohne weiteres einleuchtend. Dieses Intervall dürfte für jedes Gewebe verschieden lang sein. Was speziell den Hoden anbetrifft, so haben unsere Experimente gezeigt, daß die Applikation einer bestimmten Dosis X auf einmal oder in 3 Teilfraktionen innerhalb einer Woche keinen Unterschied ausmachte. Der Schlußeffekt ist quantitativ und qualitativ derselbe. Dies Resultat hat sicherlich für die Karzinomtherapie eine gewisse Bedeutung. Regaud (1923) hat dagegen nicht nur die Gleichwertigkeit, sondern die Überlegenheit langdauernder Bestrahlungen gegenüber größeren einmaligen Bestrahlungen hervorgehoben. Er erreichte z. B. bei einer 28tägigen Bestrahlung mit 4,161 Millicurie eine vollständige und endgültige Sterilisation beim Widder, währenddem er bei einer Bestrahlung von nur 42 Stunden Dauer und einer Dosis von 12,97 Millicurie immer noch die Persistenz vereinzelter Spermiogonien beobachtete. Unsere fraktionierten Bestrahlungen sind in dieser Hinsicht noch ergänzungsbedürftig. Die fraktionierte Bestrahlung des Kaninchenhodens wäre dann der einmaligen Bestrahlung überlegen, wenn z. B. die 10 malige Applikation von 10% der H. E. D. zu einer endgültigen Dauersterilisation führte, während die einmalige Applikation von 100% der H. E. D. nur zu einer temporären Sterilisation führt. Solche Versuche sind im Gange.

IV. Das Verhalten der einzelnen Kategorien des Samenepithels gegenüber der Röntgenenergie. Die Stellung der Röntgenhypobiosen des Hodens unter den Hodenhypobiosen überhaupt.

Seitdem die Röntgenveränderungen am Hoden histologisch studiert werden, weiß man — und alle Autoren sind sich darüber einig —, daß die fertigen Spermien, die Sertolizellen und das Zwischengewebe der Röntgenenergie gegenüber außerordentlich resistent sind, daß das Samenepithel aber eine außerordentliche Radiosensibilität besitzt. Auf diese Erscheinung unter anderem haben Bergonié und Tribondeau ihr bekanntes Gesetz basiert: Das Zwischengewebe des Hodens, insbesondere die Zwischenzellen, und die Sertolizellen der Samenkanälchen sowie die fertig gebildeten Spermien sind als Elemente von hoher Differenzierung und als Zellen, die sich nicht teilen, strahlenresistent; das undifferenzierte, in ständiger Teilung begriffene Samenepithel ist höchst strahlensensibel.

Soweit es sich um ganze Gewebe handelt, stimmen die Resultate von Bergonié und Tribondeau am Hoden auch zweifellos mit ihrem Gesetz überein: Zwischengewebe als Dauergewebe strahlenresistent, Samenepithel als „Mausergewebe" (vgl. Schinz, 1924) sensibel. Aber diese Übereinstimmung besteht nicht mehr hinsichtlich der Befunde von Bergonié und Tribondeau an einzelnen Zellkategorien, d. h. an den verschiedenen Kategorien des Samenepithels. Hier sollen nach Bergonié und Tribondeau (1904) die großen Spermiozyten empfindlicher sein als die Spermiogonien. Dagegen finden Bergonié und Tribondeau wiederum die Spermiden resistenter als die großen Spermiozyten. Dieses stünde in Übereinstimmung mit ihrem Gesetz, die angeblich größere Empfindlichkeit der erwachsenen Spermiozyten den Spermiogonien gegenüber stünde dagegen im Widerspruch dazu. Auch die Angabe von Hoffmann (1908), daß Spermiogonien und Spermiozyten der Bestrahlung gegenüber gleich empfindlich seien, steht in Widerspruch mit dem Gesetz.

Natürlich wäre das an sich durchaus kein Grund, um die betreffenden Angaben zu bezweifeln. Die Gesetze müssen den Tatsachen angepaßt werden, aber nicht die Tatsachen den Gesetzen. Und das Gesetz von Bergonié und Tribondeau ist eine Regel, die ohnehin viele Ausnahmen hat. So sind nach Regaud und Dubreuil (1908) die in-

differenten Samenzellen des infantilen Hodens strahlenresistenter als die Spermiogonien des geschlechtsreifen. Aber gerade innerhalb des Samenepithels des geschlechtsreifen Hodens hat, wie wir aus den Befunden der Regaudschen Schule wissen, das Gesetz von Bergonié und Tribondeau volle Gültigkeit. Wir können diese Befunde vollauf bestätigen. Daß die Spermiogonien unter allen Umständen die weitaus empfindlichsten Elemente des Samenepithels sind, steht nach unseren Ausführungen über die Früheffekte der Bestrahlung und über den Einfluß der Dosis ja absolut fest.

Nach den Befunden Mohrs (1919) bei Radiumbestrahlung von Heuschreckenhoden sollen allerdings die jungen Spermiozyten die empfindlichsten Elemente und die Spermiogonien weit weniger empfindlich sein. Aber Mohr erbringt unseres Erachtens einen zwingenden Beweis für diese Anschauung nicht. Es wäre bei der Versuchsanordnung Mohrs denkbar, daß die von der Bestrahlung getroffenen Spermiogonien in dem Intervall von dieser bis zur histologischen Untersuchung sich bis zu jungen Spermiozyten weiter entwickelt hätten. Die Bestrahlung hätte in diesem Falle bei Intaktlassung aller übrigen Kategorien des Samenepithels die Spermiogonien letal heredozellulär geschädigt. (Unter letaler heredozellulärer Schädigung verstehen wir eine Schädigung der Zelle, die sich erst bei ihren Nachkommen, dann aber tödlich auswirkt, siehe dazu Schinz 1924). Die Spermiogonien wären dann die empfindlichsten Elemente des Samenepithels im Heuschreckenhoden, würden aber bei der von Mohr angewandten Dosis nicht sofort, sondern erst auf dem Stadium der jungen Spermiozyten zugrunde gehen. Vielleicht ist dieses ein besonders „kritisches" Stadium. Die Bedeutung solcher „kritischer Stadien" für die Vorgänge bei heredozellulären Schädigungen äußert sich in anderen Fällen darin, daß eine durch irgendeinen Reiz latent geschädigte Zelle erst zugrunde geht, wenn sie in Karyokinese tritt (siehe darüber Schinz 1924). Es muß allerdings bemerkt werden, daß auch Regaud unbeschadet der von ihm nachdrücklich betonten maximalen Empfindlichkeit der Spermiogonien ebenfalls von einer besonderen Sensibilität der jungen Spermiozyten berichtet. Wir haben in dieser Hinsicht keine eigenen Erfahrungen.

Daß die Spermiozyten empfindlicher sind, als die Spermiden, kann man daraus entnehmen, daß bei dem typischen Verlauf der Röntgenatrophie, bei dem lediglich die Spermiogonien zugrunde gehen und nekrobiotische Erscheinungen am Samenepithel im übrigen nur vereinzelt auftreten, eben diese vereinzelten Nekrobiosen sich speziell im Bereich der Spermiozyten zeigen. Noch deutlicher wird das bei Anwendung größerer Dosen, wo es zu einem sukzessiven nekrobiotischen Zerfall der Spermiogonien, Spermiozyten und Spermiden kommt, der sich in seinem allmählichen Übergreifen von der einen Kategorie auf die andere gut verfolgen läßt (siehe unsere Ausführungen im Kapitel Früheffekte). Daß selbst bei dem typischen Verlauf der Röntgenatrophie, d. h. nach Applikation von mäßigen Dosen, vereinzelt auch Spermidenriesenzellbildung zu beobachten ist, ändert daran nichts, weil eben die betreffenden Kanälchenabschnitte in toto schwerer betroffen sind. Auf keinen Fall beginnen bei der Röntgenatrophie des Hodens die degenerativen Veränderungen an den Spermiden, wie das bei Hodenatrophien infolge mechanischer Schädigungen oder Ernährungsstörungen (Schinz und Slotopolsky, 1924), oder infolge Vasoligatur (Bouin, 1897) der Fall ist. Die Reihenfolge der Degeneration, sofern eine solche überhaupt das ganze Samenepithel ergreift, ist bei der Röntgenatrophie des Hodens unter allen Umständen genau umgekehrt, wie bei den genannten anderen Formen.

Das Studium der histologischen Vorgänge bei diesen Formen, bei denen die Degeneration zuerst die Spermiden und zuletzt erst die Spermiogonien ergreift, könnte leicht zu einer falschen Vorstellung über die wahre Empfindlichkeit dieser Elemente führen. Der Bestrahlungsversuch schützt uns vor einem solchen Irrtum und lehrt uns die wahre Empfindlichkeit der verschiedenen Kategorien des Samenepithels kennen. Eine spezifische Wirkung der Röntgenstrahlen und eine spezifische Röntgenempfindlichkeit gibt es ja nicht (vgl. Schinz, 1924). Auch hier bewährt sich die Röntgenbiologie als allgemeine Biologie. Auch das Gesetz von Bergonié und Tribondeau gehört in Wirklichkeit in das Gebiet der allgemeinen Biologie.

Ebenso ist allgemein biologisch und allgemein pathologisch an dem Verlauf der Röntgenatrophie des Hodens nach Applikation mittlerer und kleiner Dosen sehr instruktiv, wie nicht nur durch direkte Zerstörung von Zellen, sondern auch lediglich durch Störungen ihrer Teilungsfähigkeit — man denke insbesondere an die Folgen einer Applikation von 10% der H.E.D. in unseren Versuchen — weitgehende atrophische Veränderungen in einem Organ zustande kommen können. Auch diejenige Schädigungsart einer Zelle, die sich nicht an ihr selbst, sondern erst an ihren Nachkommen manifestiert — heredozelluläre Schädigung Regaud — lernt man bei der Röntgenatrophie des Hodens kennen. Hierher gehört z. B. Anisozytose der Spermiden, die aus den von der Bestrahlung betroffenen Spermiozyten, Reifeteilungsstadien oder Präspermiden hervorgeht. Schwerere heredozelluläre Schädigungen, die Bildung von Teratospermien hat Regaud beschrieben (siehe z. B. Regaud).

Der Verlauf der Vorgänge bei der Röntgenatrophie des Hodens erlaubt gewisse Rückschlüsse auch auf die Vorgänge in bestrahlten Tumoren. Auch hier werden Störungen der Teilungsfähigkeit und heredozelluläre Schädigungen allein schon weitgehende Veränderungen bewirken können. Auf der anderen Seite wird aber hier ebenso, wie bei einer Bestrahlung mit Dosen bis zu 4 H.E.D. am Hoden mit einer Restitution, unter Umständen mit einem Rezidiv zu rechnen sein. Die vollständige, auch funktionelle Restitution des Hodens nach einer temporären Sterilisation, wie wir sie aus einem Versuche von Lacassagne kürzlich kennenlernten (Lacassagne, 1924), hat bei der Tumorbehandlung ihr Gegenstück in einem auch hinsichtlich seiner Malignität völlig ungeschwächten Rezidiv.

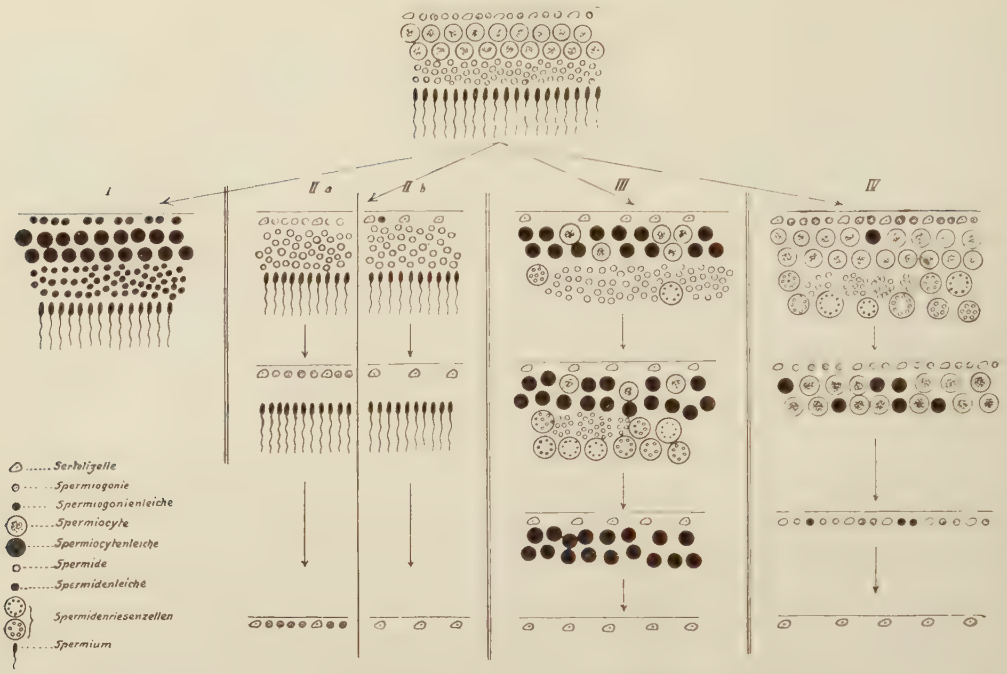
Es ist außerordentlich wichtig, sich klar zu machen, daß bei Bestrahlung mit Dosen, die man als die üblichen bezeichnen kann, ja die in der Röntgentherapie zum Teil bereits als sehr hohe Dosen betrachtet werden, die Röntgenatrophie des Hodens ohne nennenswerten nekrobiotischen Zerfall von Samenepithelien lediglich dadurch zustande kommt, daß der Nachschub von der zerstörten oder gelähmten Matrix aus unterbleibt. Es ergibt sich daraus, daß eine Röntgenbestrahlung der Hoden mit eben diesen üblichen Dosen hinsichtlich ihrer morphologischen Eigentümlichkeiten und deshalb hinsichtlich ihrer physiologischen Wirkungen mit anderen Eingriffen am Hoden, die ebenfalls eine Atrophie des Organes bewirken, nicht ohne weiteres verglichen werden kann. Es kann eine Röntgenbestrahlung der Hoden, selbst wenn sie zu dauernder Atrophie führt, namentlich hinsichtlich ihrer Allgemeinwirkungen auf den Organismus mit der Anlegung eines künstlichen Kryptorchismus oder mit einer Steinach-Operation nicht ohne weiteres verglichen werden. Die Wirkungen der beiden letztgenannten Eingriffe auf den Gesamtorganismus — beide sind als Verjüngungsoperationen vorgeschlagen worden — beruhen unserer Ansicht nach lediglich auf einer Resorption von massenhaft zerfallendem Samenepithel; mit einer allfälligen Vermehrung der Zwischenzellen bei diesen Prozessen haben sie nichts zu tun (siehe darüber Schinz und Slotopolsky, 1925). Von einer Röntgenbestrahlung der Hoden mit den üblichen, d. h. mit mäßigen Dosen, wobei außer den an Zahl und an Masse nicht ins Gewicht fallenden Spermiogonien nichts zerfällt und nichts resorbiert wird, sind daher keinerlei „verjüngenden" oder sonst irgendwie stimulierende Wirkungen zu erwarten. Wir haben das an anderer Stelle (Schinz und Slotopolsky, 1925) bereits gegenüber Steindl (1924) betont, der die Röntgenbestrahlung der Hoden bei Impotenz als gleichwertig einer Steinachoperation empfiehlt. (Daß wir übrigens auch gegen eine Steinach-Operation in solchen Fällen große Bedenken haben, sei hier nur nebenbei bemerkt. Es wird in der erwähnten Arbeit ausführlicher erörtert.)

Wenn wir uns schließlich fragen, welche Stellung die Röntgenhypobiosen des Hodens unter den Hodenhypobiosen überhaupt einnehmen, so haben wir festzustellen:

Die Röntgenschädigung des Hodens kann Atrophie, kann Nekrose sein. Es ist nur eine Frage der Dosis, ob das eine oder andere eintritt. Die Röntgenatrophie des Hodens kann eine Hypoplasie sein, wenn ein jugendliches Organ bestrahlt wurde. Dann ist die Konsequenz ein Ausbleiben der normalen Weiterentwicklung (Schinz und Slotopolsky, 1924). Sie ist Atrophie im engeren Sinne, wenn die Bestrahlung an einem geschlechtsreifen Testikel vorgenommen wurde. Gegenüber den übrigen Hodenatrophien nimmt die Röntgenatrophie des geschlechtsreifen Hodens eine Sonderstellung ein. Unter allen Umständen verläuft bei ihr die Degeneration der einzelnen Kategorien des Samenepithels in einer Reihenfolge, die ihrer wahren Empfindlichkeit entspricht. Bei dem typischen Verlauf der Röntgenatrophie — wir meinen damit den Verlauf nach Applikation mittlerer Dosen — kommt hierzu noch als weiteres Charakteristikum, daß die Leerung der Kanälchen, ohne nennenswerten nekrobiotischen Zerfall von Samenepithel, lediglich durch Fehlen des Nachschubs von der Matrix aus zustande kommt.

Wenn wir uns ein Samenkanälchen als ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß mit elastischer Wandung vorstellen, dessen Spiegel trotz andauernden Abflusses immer auf gleicher Höhe bleibt, weil dauernd auch ein entsprechender Zufluß erfolgt, so haben wir uns die Vorgänge bei den verschiedenen Hodenhypobiosen so vorzustellen: Bei der Nekrose erstarrt die ganze Flüssigkeitssäule auf einmal oder zersetzt sich. Bei der Atrophie hingegen ist das Wesentliche eine Leerung des Gefäßes unter gleichzeitiger Schrumpfung seiner elastischen Wand. Bei der Röntgenatrophie in ihrer typischen Verlaufsweise erfolgt die Leerung des Gefäßes lediglich dadurch, daß der Zufluß unterbleibt, während der Abfluß in normaler Weise weitergeht. Bei „atypischem" Verlaufe der Röntgenatrophien und bei Hodenatrophien infolge von mechanischen Schädigungen oder Ernährungsstörungen wird diese Leerung noch dadurch beschleunigt, daß das Gefäß von oben her gewissermaßen ausgeschöpft wird.

Diese Verhältnisse werden durch das beigefügte Schema illustriert, in dem wir der Einfachheit halber die einzelnen Kategorien des generativen Anteils durch ihre Kerne repräsentiert sein lassen. Die Degeneration am Samenepithel ist schematisch so dargestellt, als ob sie ausschließlich durch Pyknose erfolge, während ja doch in Wirklichkeit speziell die Chromatolyse hier ebenfalls eine große Rolle spielt. Abteilung I des Schemas stellt den Vorgang bei der Hodennekrose dar, wie sie durch Autolyse, durch hämorrhagische Infarzierung oder durch exzessive Röntgenbestrahlung zustande kommt: Der gesamte Inhalt der Samenkanälchen erstarrt oder verflüssigt sich mit einem Schlage. Abteilung II, III und IV stellen verschiedene Verlaufsweisen der Hodenatrophie dar. Hier ist eine allmähliche Leerung der Kanälchen das Charakteristische, und es bleiben am Schluß als lebender Bestandteil wenigstens die Sertolizellen zurück. Dieser Endeffekt ist bei allen 3 dargestellten Formen der Atrophie der gleiche. Sehr verschieden ist aber seine Genese. In Abteilung II ist die typische Röntgenatrophie dargestellt. Dabei repräsentieren die Unterabteilungen a und b die verschiedene Wirkung von Dosen, die die Spermiogonien nur lähmen und von solchen, welche die Spermiogonien vernichten. Der Depopulationseffekt ist aber im Prinzip in beiden Fällen der gleiche. Über die charakteristischen Depopulationsstadien V—VII — die Spermiden, bzw. die Spermien reichen direkt bis auf die basale Reihe der Sertolikerne hinunter — kommt es hier schließlich zur völligen Leerung der Kanälchen, ohne daß nennenswerte nekrobiotische Prozesse am Samenepithel im Spiele wären. Abteilung III des Schemas zeigt den „atypischen" Verlauf der Röntgenatrophie nach Applikation hoher Dosen. Die Leerung der Kanälchen erfolgt hier durch einen sukzessiven nekrobiotischen Zerfall des Samenepithels, der bei den Spermiogonien anfängt und über die Spermiozyten bis zu den Spermiden hin fortschreitet. Diese nekrobiotischen Erscheinungen bilden eine Gemeinsamkeit zwischen der atypischen Verlaufsweise der Röntgenatrophie des Hodens und der in Abteilung IV dargestellten Verlaufsweise der Hodenatrophie infolge von Ernährungsstörungen, von mechanischen Schädigungen und von Unterbindung des Ausführungsganges. Hier ist die Reihenfolge der nekrobiotischen Vorgänge am Samenepithel aber umgekehrt. Die Degeneration beginnt an den Spermiden und ergreift die Spermiogonien erst ganz zuletzt. Demgemäß unterscheiden wir bei diesen Formen der Hodenatrophie eine Reihe von Stadien — im Schema sind Stadium I bis IV dargestellt — die bei der Röntgenatrophie nicht nachweisbar sind.



Schema. Verlauf und Endzustände bei den verschiedenen Hodenhypobiosen sind dargestellt. Ganz oben in der Mitte ein Sektor aus einem normalen Samenkanälchen. Er enthält von der Membrana propria angefangen bis an das Lumen: Sertolizellen (Se.), Spermiogonien (Spg.) Spermiocyten (Spc.), Spermiden (Spd.), Spermien (Sp.). Spc. als ganze Zellen gezeichnet, Se., Spg. und Spd. bloß durch ihre Kerne repräsentiert. Unter I ist die Hodennekrose dargestellt. Sie beruht auf einer mehr oder weniger plötzlichen Degeneration aller Elemente des Samenepitiels — Koagulation oder Auflösung — in loco. II, III und IV stellen die Hodenatrophie dar, die durch eine allmähliche stadienweise Leerung der Samenkanälchen charakterisiert wird. II ist die typische Verlaufsweise der Röntgenatrophie des Hodens, bei der nekrobiotische Vorgänge am Samenepithel ganz in den Hintergrund treten bzw. allein auf die Spg. beschränkt sind. III und IV ist die atypische Verlaufsweise der Röntgenatrophie und die „normale" Verlaufsweise der übrigen Hodenatrophien (infolge von Ernährungsstörungen, nach Vasoligatur usw.), wobei nekrobiotische Vorgänge am Samenepithel in großem Umfange das Bild beherrschen. Charakteristisch für die Röntgenatrophie (III) ist aber, daß auch hier von Anfang an die Spg. fehlen, die als die empfindlichsten Elemente des Samenepithels zuerst zugrunde gehen, während sie sich bei den übrigen Formen der Hodenatrophie (IV) umgekehrt am längsten erhalten. Die erste Kolonne von IIa und IIb zeigt, wie durch die Röntgenbestrahlung die Spg. entweder gelähmt (IIa) oder getötet worden sind (IIb) und wie infolgedessen eine Neubildung von Spc. nicht mehr stattgefunden hat, die zur Zeit der Bestrahlung vorhanden gewesenen Spc. sich inzwischen in Spd. umgewandelt haben. Die zur Bestrahlungszeit vorhanden gewesenen Sp. sind nebenhodenwärts fortgeschwommen. Die damaligen Spd. haben sich in eine neue Generation Sp. umgewandelt. In der 2. Kolonne von IIa und IIb sind auch diese Sp. nicht mehr vorhanden. Die hier anwesenden Sp. sind aus den Spd. der ersten Kolonne von IIa und IIb hervorgegangen. Neue Spd. sind natürlich keine gebildet worden. In der dritten Kolonne von IIa und IIb ist auch die letzte, seit der Bestrahlung noch gebildete (dritte) Spermiengeneration nebenhodenwärts fortgeschwommen und nun sind die Samenkanälchen ganz leer von Sp. Der Ablauf der Erscheinungen ist bei III und IV ein ganz anderer. Die erste Kolonne von III zeigt die Spg. allesamt getötet und resorbiert. Die Spc. zeigen vorgeschrittene, die Spd. beginnende Degeneration, nämlich Riesenzellbildung und das Unvermögen der Spermiohistogenese. Die zu Beginn vorhandenen Sp. sind nebenhodenwärts fortgeschwemmt. Eine Neubildung hat nicht stattgefunden. Die zweite Kolonne von III zeigt Zunahme der nekrobiotischen Prozesse, die dritte Kolonne von III zeigt das Zugrundegehen der Spc. in loco, während die Spd. unter Desquamation ins Lumen abgestoßen und fortgeschwemmt sind. IV zeigt die gerade umgekehrte Reihenfolge des Untergangs der einzelnen Kategorien des Samenepithels gegenüber III. Die vier Kolonnen von IV stellen die vier Stadien der Hodenatrophie bei Ernährungsstörungen und verwandten Schädlichkeiten dar.

V. Die Latenzzeit bei der Röntgenatrophie des Hodens.

Als charakteristische Eigentümlichkeit der Wirkungsweise der Röntgenstrahlen gilt die zwischen dem Auftreten erkennbarer Veränderungen und der Bestrahlung zu beobachtende, oft recht lange Latenzzeit. Wir sind der Ansicht, daß man in dem Phänomen der Latenzzeit zu Unrecht eine besondere Eigentümlichkeit der Röntgenwirkung sieht und daß dieses Phänomen ein biologisches überhaupt ist, das auch bei anderen Reizwirkungen eine Rolle spielt. Nichtsdestoweniger ist das Studium der Latenzzeit nach Röntgenbestrahlung biologisch und pathologisch lehrreich und vor allem von praktischer Wichtigkeit.

Der Begriff der Latenzzeit ist außerordentlich vielgestaltig, und die Latenzzeit ist jedesmal eine andere, wenn man den Standpunkt wechselt, unter dem man sie betrachtet, d. h. es kommt ganz darauf an, auf welche Erscheinungen und auf welche Objekte wir den Begriff Latenzzeit anwenden.

Bei der Röntgenatrophie des Hodens kann man als klinische Latenzzeit diejenige Zeit bezeichnen, welche von der Bestrahlung bis zum Eintreten einer Azoospermie verstreicht. Markovits (1923) bezeichnet sie als indirekte Latenzzeit. Es ist klar, daß diese Zeit eine ganz bestimmte Dauer besitzt und daß sie um ein Bestimmtes größer sein muß als die Depopulationszeit: Die Azoospermie tritt ein, wenn auch die letzten seit der Bestrahlung neu gebildeten Spermien den Nebenhoden, in dem sie nach dem Austritt aus dem Hoden gespeichert wurden, verlassen haben. Die klinische Latenzzeit ist demgemäß gleich der Depopulationszeit plus der Verweildauer der letzgebildeten Spermien im Nebenhoden. D. h. sie dürfte die Depopulationszeit um einige Wochen übertreffen. Daraus ergibt sich aber, daß in Fällen, in denen die Vorgänge der Depopulation und der Restitution sehr rasch aufeinander folgen, nach außen hin, klinisch, überhaupt kein Effekt in Erscheinung tritt, es sei denn, daß man eine tastbare Größenverminderung des depopulierten Hodens als solche betrachten wollte. Diese Sachlage ist in unseren Versuchen gegeben gewesen, in denen die Restitutio ad integrum entweder bereits innerhalb der ersten 4 Wochen nach der Bestrahlung — bei Applikation von Dosen unter 1 H.E.D., oder aber wenigstens innerhalb der ersten 3 auf die nach ca. 28 Tagen vollendete Depopulation folgenden Wochen vollendet war. Ein klinischer Effekt der Bestrahlung im Sinne der Azoospermie kann nur in solchen Fällen eintreten, in denen entweder die Restitution erst monatelang nach der Depopulation oder überhaupt nicht erfolgt.

Die Depopulationszeit und damit die klinische Latenzzeit ist je nach der angewandten Dosis verschieden. Wie wir gesehen haben, ist z. B. nach Applikation von 30 H.E.D. der Hoden bereits nach 5 Tagen völlig „entvölkert", während bei Applikation von mäßigen Dosen: von 1, 2, 3 H.E.D., in unseren Versuchen ca. 4 Wochen bis zur vollständigen Depopulation vergingen.

Die klinische Latenzzeit — Regaud nennt sie „makroskopische Latenzzeit" — beruht bei der typischen Röntgenatrophie des Hodens auf denselben Erscheinungen wie bei der Haut. Auch hier besteht die unmittelbare Wirkung der Bestrahlung in einer Schädigung der Matrix, von der aus dann kein Nachschub mehr erfolgt. Der klinische Effekt — in diesem Falle Epilation und Dermatitis — aber zeigt sich erst, wenn sich das Fehlen dieses Nachschubes fühlbar macht, d. h. wenn die von der Bestrahlung nicht ernstlich geschädigten differenzierteren Elemente ihre normale Entwicklung — Zytomorphose im Sinne von Minot — vollendet haben (siehe hierzu Regaud, 1923).

Ganz anders liegt die Sache, wenn wir nach der Latenzzeit für die Schädigung der

einzelnen Kategorien des Samenepithels fragen. Hier ist vor allem die Latenzzeit bezüglich der Spermiogonien wichtig. Meßbar ist sie nur da, wo durch die Bestrahlung überhaupt morphologische Veränderungen an den Spermiogonien erzeugt werden — entsprechend der Definition Heinekes (1914), der als Latenzzeit die Zeit zwischen Aufhebung der Teilungsfähigkeit der Zelle und ihrem Tode bezeichnet. Wo, wie in unseren Versuchen, nach Applikation von 10% der H.E.D. bloß die Teilungsfähigkeit der Spermiogonien vorübergehend aufgehoben wird, da kann man natürlich praktisch nicht feststellen, in welchem Moment dieser Effekt eintritt. Anders in den Fällen, wo die Spermiogonien durch die Bestrahlung getötet werden. Hier beträgt die Latenzzeit bei Anwendung mäßiger Dosen — in unseren Versuchen von 2—4 H.E.D — ca. 3 Tage. Bei Applikation höherer Dosen ist sie kürzer, unter Umständen sogar ganz wesentlich kürzer. So fanden wir ja nach Applikation von 30 H.E.D. bereits wenige Stunden später eine ausgedehnte Nekrobiose der Spermiogonien vor.

Den Begriff der Latenzzeit, wie ihn Heineke formuliert hat, können wir allerdings nicht akzeptieren: Erstens einmal dürfte es auch für den Teilungsstillstand der Zellen eine Latenzzeit geben, nur daß diese eben schwer meßbar ist. Zweitens spricht Heineke vom natürlichen Tode der Zellen, während hier doch zweifellos ein künstlicher Tod vorliegt, es sei denn, daß man den in der Tat unabwendbaren Tod einer Zelle, die ihre Teilungsfähigkeit pathologischerweise für immer verloren hat, als natürlichen bezeichnen wollte. Drittens verallgemeinert Heineke seinen für die Zelle in gewisser Hinsicht passenden Begriff der Latenzzeit indem er diese Latenzzeit als die Latenzzeit überhaupt bezeichnet, während, wie wir gesehen haben, für ganze Organe, namentlich auch unter funktionellen Gesichtspunkten, die Latenzzeit etwas ganz anderes ist. Hier ist die Latenzzeit die „Resultante komplexer Faktoren" (Regaud, 1923).

Gleichviel aber, ob es sich um die „mikroskopische" oder um die „makroskopische" Latenzzeit handelt, in jedem Falle hängt die Latenzzeit von der Dosis ab, in dem Sinne, daß sie bei stärkerer Dosierung abnimmt.

Bei der Hodenatrophie infolge von Ernährungsstörungen ist die auf die Spermiden einwirkende Schädigung offenbar so stark, daß sie diese Zellkategorie nach nur recht kurzer Latenzzeit zur Nekrobiose bringt. Dem nekrobiotischen Zerfall der Spermiozyten geht hier eine längere und dem der Spermiogonien eine sehr lange Latenzzeit, man kann auch sagen „Krankheitsdauer" voraus (siehe darüber Schinz und Slotopolsky, 1924). Diese lange Latenzzeit für die morphologisch faßbare Schädigung der Spermiogonien bei Hodenatrophien infolge von Ernährungsstörungen u. dgl. scheint uns dafür zu sprechen, daß die auf die Spermiogonien hierbei einwirkende schädigende Reizstärke quantitativ einen geringeren Wert hat als die schädigende Reizstärke, die bei einer mäßigen Röntgenbestrahlung appliziert wird.

In der außerordentlich kurzen Latenzzeit der Lymphozyten, die Heineke bei seinen bekannten Versuchen gefunden hat, erblickt er eine besondere Eigentümlichkeit dieser Gewebsart und glaubt, daß das lymphoide Gewebe der Röntgenenergie gegenüber eine ausgesprochene Sonderstellung einnimmt. Angesichts dessen, daß Heineke mit Dosen bestrahlt hat, die unseren großen Dosen von 15—30 H.E.D. entsprechen dürften, und angesichts dessen, daß bei Applikation solcher Dosen die Latenzzeit der Spermiogonien in unseren Versuchen sich als nicht kürzer erwies als die der Lymphozyten in den Versuchen Heinekes, könnte man versucht sein, den Spermiogonien eine gleich große Radiosensibilität zuzubilligen wie den Lymphozyten. Wir ziehen diese Konsequenz aber nicht, da wir aus einer eigenen Beobachtung wissen, daß auch bei Anwendung viel geringerer Dosen als die, mit denen Heineke gearbeitet hat, die Latenzzeit der Lymphozyten außerordentlich kurz ist. In einem Falle von hämolytischer

Anämie, in dem eine Milzexstirpation vorgenommen wurde, haben wir 12 Stunden vor der Operation den unteren Pol der Milz mit 1 H.E.D. bestrahlt (Oberflächendosis). Die histologischen Präparate aus dieser Partie zeigen den von Heineke beschriebenen ausgedehnten Zerfall der Lymphozyten, während nach Applikation der gleichen Dosis am Hoden entsprechende Veränderungen an den Spermiogonien doch erst wesentlich später auftreten dürften, wissen wir doch aus eigenen Versuchen am menschlichen Hoden (siehe S. 456 und 457), daß nach Applikation der gleichen Dosis 4 Tage später an den Spermiogonien noch keine Degenerationserscheinungen wahrnehmbar waren. Immerhin ist, wie uns unsere Tierversuche gezeigt haben, die Latenzzeit bei den Spermiogonien als eine recht kurze zu bezeichnen, und es scheint uns zulässig, die Spermiogonien hinsichtlich ihrer Radiosensibilität wenigstens in die Nähe der Lymphozyten zu stellen.

Den Lymphozyten eine eigentliche Sonderstellung anzuweisen, erscheint uns aus prinzipiellen Gründen, die sich aus den gesamten Ausführungen in diesem Abschnitt ergeben, nicht zulässig. Die ganze Frage der Latenzzeit ist überhaupt eine rein quantitative und hängt lediglich davon ab, bis zu welcher Feinheit die histologische Untersuchung getrieben wird. Erinnern wir uns, daß Simmonds für die Latenzzeit bei der Röntgenatrophie des Hodens — nicht unter klinischen, sondern unter histologischen Gesichtspunkten! — 4 Wochen angibt, während sie unter histologischen Gesichtspunkten ja in der Tat, auch bei maßvoller Dosierung, nur höchstens 4 Tage beträgt — wenn man eben die histologische Analyse weit genug treibt. Ganz entsprechend zweifeln wir aber auch nicht daran, daß da, wo wir noch keine morphologischen Veränderungen nachweisen konnten — z. B. einige Stunden nach Bestrahlung mit 2—4 H.E.D. — wohl trotzdem schon solche vorhanden gewesen sein werden, die eine verfeinerte histologische Technik der Zukunft uns vielleicht einst noch kennen lehren wird.

VI. Die Zwischenzellen.

Auch der Röntgenhoden spielt in dem Kampf um das morphologische Substrat der Hodeninkretion eine Rolle. Auch in dem Röntgenhoden hat man wie in kryptorchen, transplantierten und vasoligierten Testikeln eine „isolierte Pubertätsdrüse" erblicken wollen. Auch hat man geglaubt — und diese Ansicht ist heute sehr weit verbreitet —, daß die Röntgenstrahlen eine Reizwirkung auf die „Pubertätsdrüse" ausüben, und man hat deshalb auch daran gedacht, Röntgenbestrahlung der Hoden zu „Verjüngungs"- und anderen Stimulationszwecken anzuwenden (Steinach), bzw. man hat diese Idee auch in die Tat umgesetzt (siehe darüber z. B. Steindl, 1924, und über unsere Kritik an diesem Vorgehen, Schinz und Slotopolsky, 1925).

Der Röntgenhoden, der in den Samenkanälchen immerhin die, wie in dem letzten Abschnitt der vorliegenden Arbeit gezeigt werden wird, keineswegs gleichgültigen Sertolizellen enthält, stellt auf keinen Fall eine „isolierte Pubertätsdrüse" dar. Das braucht ja wohl nicht mehr besonders betont zu werden. Daß die Vermehrung der Zwischenzellen im Röntgenhoden, über die die Mehrzahl der Autoren berichtet, schwerlich auf einer Reizwirkung beruhen dürfte, geht aber daraus hervor, daß diese auch sonst regelmäßig beobachtet wird, wenn der generative Anteil aus irgendeiner Ursache zugrunde geht[1]).

[1]) Am Ovar liegen die Verhältnisse entsprechend. Nicht nur das Röntgenovar, sondern auch das Schwangerschaftsovar zeigt eine Wucherung der „Pubertätsdrüse". (Siehe darüber Schinz, 1923.) In mancher Hinsicht besteht bei dieser Streitfrage eine Analogie zu dem Streit über die

Vor allem ist aber doch erst zu prüfen, ob diese Vermehrung der Zwischenzellen auch eine wirkliche, absolute, und ob sie nicht gar lediglich durch die Schrumpfung der Samenkanälchen vorgetäuscht und rein relativ ist.

Den Gedanken, daß eine wirkliche Vermehrung der Zwischenzellen im Röntgenhoden durch eigens darauf gerichtete Untersuchungen zu beweisen ist, haben offenbar bereits Bergonié und Tribondeau gehabt. Aber die Methode, die Bergonié und Tribondeau (1906) anwandten, war vollständig verfehlt: sie fertigten in entsprechender Weise Zeichnungen von Schnitten durch röntgenatrophische Hoden und durch normale Kontrollorgane an, schnitten in beiden die Partien aus, die dem Zwischengewebe entsprechen sollten, und verglichen dann ihr Gewicht. In den Röntgenhoden war dies Gewicht größer als in normalen Kontrollorganen. Es ist klar, daß Bergonié und Tribondeau mit ihrem Vorgehen nichts weiter erreichten als einen zahlenmäßigen Ausdruck dafür, was man auf den Schnitten ohnehin sieht, und daß sie so lediglich für die ja ohnehin zweifellose relative Zwischenzellvermehrung im Röntgenhoden einen bestimmten in einer Zahl ausdrückbaren Wert erhielten. Der schwere Irrtum von Bergonié und Tribondeau war, daß sie glaubten, mit ihrer Methode eine absolute Vermehrung der Zwischenzellen im Röntgenhoden bewiesen zu haben, was ohne Berücksichtigung des Gesamtvolumens der verglichenen Organe gar nicht möglich ist. Regaud und Nogier (1911) kritisieren an dem Vorgehen Bergoniés und Tribondeaus nur technische Fehler — Bergonié und Tribondeau haben z. B. einfach die intertubulären Zwischenräume dem Zwischengewebe gleichgesetzt, obwohl in ihren Präparaten bedeutende Artefakte vorhanden waren. Auf den grundsätzlichen Irrtum Bergoniés und Tribondeaus treten sie aber nicht ein. Sie zweifeln den absoluten Charakter der Zwischenzellvermehrung im Röntgenhoden an, ohne aber einen Beweis für ihre Ansicht zu erbringen oder eine Methode anzugeben, mit der die Frage zu lösen ist. Auch Lipschütz (1919) hat den Gedanken ausgesprochen, daß eine Zwischenzellvermehrung im histologischen Schnitte unter Umständen bloß relativ sein kann. Aber auch er hat aus diesem Gedanken seinerzeit noch keine praktischen Konsequenzen gezogen.

Es ist das unbestreitbare Verdienst Stieves (1919—1924), eine Methode angegeben zu haben, die dem Probleme gerecht wird. Stieve hat diese Methode bei seinen umfangreichen Untersuchungen dann auch konsequent angewandt und durch die dabei erzielten Ergebnisse sowie durch die Schaffung der Methode überhaupt die ganze Zwischenzellfrage außerordentlich gefördert.

Stieve zeichnet, schneidet aus und wiegt wie Bergonié und Tribondeau. Dann aber berechnet er, indem er das vor der histologischen Verarbeitung bestimmte Gesamtvolumen des zu untersuchenden Testikels heranzieht, aus den gefundenen relativen die wirklichen absoluten Werte. Z. B.: Ein zu untersuchender Testikel habe ein Volumen von 1 ccm. Eine Reihe von durch verschiedene Regionen dieses Hodens gemachten Schnitten wird bei gleicher Vergrößerung auf gleich dicken Karton gezeichnet. Aus diesen Kartons werden die dem Zwischengewebe und die den Samenkanälchen entsprechenden Partien herausgeschnitten und gewogen. Die Wägung ergebe ein Gewichtsverhältnis von 1 : 9 zwischen intergenerativem und generativem Anteil. Das bedeutet, daß auch die Volumina des intergenerativen und des generativen Anteils in diesem Hoden sich wie 1 : 9 verhalten. Mithin würde in diesem Hoden der generative Anteil 0,9 ccm, der intergenerative Anteil aber 0,1 ccm einnehmen. Handelt es sich um einen irgendwie veränderten Testikel, so kann man, indem man normale Kontroll-

Ursache der Bindegewebswucherung in bestrahlten Karzinomen. Während die einen eine unmittelbare Reizwirkung der Strahlen auf das Bindegewebe annehmen, sehen die anderen in seiner Vermehrung nur die Reaktion auf den Untergang des Karzinomgewebes.

organe in entsprechender Weise untersucht, durch Vergleichung der so gefundenen absoluten Zahlen feststellen, ob eine im histologischen Schnitte zu konstatierende Vermehrung oder Verminderung des Zwischenzellgehaltes absolut oder nur relativ ist.

Das ist die Methode. Es gibt bei ihr noch einige technische Einzelheiten zu diskutieren: Stieve hält auf peinlichste histotechnische Verarbeitung der für derartige Untersuchungen bestimmten Testikel. Im normalen Nagetierhoden, mit dem er hauptsächlich gearbeitet hat und mit dem ja auch in den meisten Experimentaluntersuchungen überhaupt gearbeitet wird, liegen die Samenkanälchen dicht gedrängt beieinander und sind nur an den Knotenstellen durch spärliches Zwischengewebe getrennt. Stieve schneidet bei seiner Rekonstruktionsmethode jeweils die Tubuli und die intertubulären Zwischenräume aus. Letztere setzt er dem Zwischengewebe gleich. Er darf das auch — im Gegensatz zu Bergonié und Tribondeau, die kolossale Artefakte in ihren Präparaten hatten — angesichts der tadellosen Konservierung seiner Präparate. Um Schrumpfungen, also die Bildung künstlicher Zwischenräume zwischen den Tubuli zu vermeiden, hat Stieve vorzugsweise folgendes Vorgehen angewandt: Die Objekte werden in einer auf 37° C erwärmten Mischung von 76 Teilen konzentrierter wäßriger Sublimatlösung, 4 Teilen Eisessig und 20 Teilen konzentriertem Formol 3 Stunden lang im Thermostaten fixiert. Sie werden sodann auf 24 Stunden in 70%igen Jodalkohol überführt, und nun wird ganz langsam, jeweils nur um 5% mit der Konzentration des Alkohols (natürlich nicht mehr Jodalkohol), in die Höhe gegangen und dann in üblicher Weise über Chloroform in Paraffin eingebettet. Sämtliche Prozeduren bis zur Einbettung vollziegen sich im Thermostaten bei 37° C. Der Erfolg dieser Technik ist, wie wir uns überzeugen konnten, ausgezeichnet. So schöne Präparate, wie mit dieser Technik, haben wir bei keiner anderen Art der Verarbeitung erhalten, jedenfalls nie in solcher Häufigkeit. Auch bei dieser Technik erlebt man ab und zu einen Fehlschlag, indes ist das ungleich häufiger bei den anderen üblichen Methoden der Verarbeitung der Fall. Entsprechend der bereits von Hermann (1889) geäußerten Ansicht hatten auch wir daran gedacht, daß sich die artifiziellen Lücken zwischen den Kanälchen, die man in ohne besondere Kautelen hergestellten Hodenpräparaten so ungemein häufig zu sehen bekommt, vielleicht vermeiden ließen, wenn man das Organ jeweils in toto fixiere, und daß es dann auf die Art der Fixation im übrigen nicht so sehr ankomme. Aber es hat sich gezeigt, daß das Hervorquellen des Hodenparenchyms über die Schnittflächen, wenn man den Testikel durchschneidet, belanglos ist, wenn die Technik von Stieve angewandt wird, und daß anderseits eine Totalfixierung nichts nützt, wenn man im übrigen eine andere Art der Fixation, z. B. eine solche in Carnoyschem Gemisch anwendet[1]). Als wir das erkannt hatten, haben wir dementsprechend bei den zu Zwischenzelluntersuchungen bestimmten Ojekten nicht nur die Technik von Stieve angewandt, sondern die Hoden hier jeweils vor der Fixierung auch immer aufgeschnitten, weil bei Fixierung des unaufgeschnittenen Organes, wenn es nicht kleiner ist als 1 ccm, die innersten Partien meist unbrauchbar werden. Eine kleine Korrektur an den technischen Angaben von Stieve möchten wir uns noch erlauben: Bei nicht allzu kleinen Objekten genügt ein 24 Stunden langes Verweilen in Jodalkohol nicht, um das Sublimat voll-

[1]) Bei einem frischen Kaninchenhoden haben wir festgestellt, daß nach Abtrennung des Fettkörpers und des ganzen Nebenhodens das Gewicht 2,6 g betrug. Das Volumen bestimmten wir zu 2,53 ccm. Das spezifische Gewicht beträgt danach 1,038. Das nach der Formel $4/3\,\pi\,a\,b^2$ berechnete Volumen betrug 2,74 ccm. Nach Fixation in Carnoy-Gemisch und Überführen in absoluten Alkohol wog derselbe jetzt alkoholimbibierte Hoden noch 1,775 g, währenddem die Volumenbestimmung 2,11 ccm und die Volumenberechnung 2,36 ccm ergab. Der in toto fixierte Hoden war also von 2,53 ccm auf 2,11 ccm geschrumpft.

kommen zu entfernen; es machen sich dann später in den Schnitten Sublimatkristalle unangenehm bemerkbar. Wir haben deshalb später immer länger jodiert.

Die Resultate dieser Technik waren bezüglich der Vermeidung von artifiziellen Lücken in den Präparaten, wie gesagt, sehr gute. Kleine Lücken allerdings traten hier und da in den Schnitten doch auf. Diese Lücken machten für die Berechnung eine gewisse Schwierigkeit, da es sich schwer sagen läßt, ob sie durch eine Dissoziation des Hodenparenchyms oder aber durch Schrumpfungsprozesse entstehen, und in letzterem Falle, ob diese Schrumpfung lediglich die Samenkanälchen oder in gleichem Maße auch das Zwischengewebe betrifft. Wir haben uns auf den Standpunkt gestellt, daß die künstlichen Lücken schwerlich bloß einer Schrumpfung der Samenkanälchen allein zugeschrieben werden können und haben deshalb bei der Berechnung der Mengenverhältnisse die Lücken jeweils einfach in Abzug gebracht. Wir haben aber, um uns zu überzeugen, ein wie großer Fehler durch dieses Vorgehen allenfalls entstehen könnte, sämtliche Berechnungen gleichzeitig auch noch in der Weise ausgeführt, daß wir die Lücken mit einbezogen und sie dem generativen Gewebe zurechneten, was der Annahme entsprechen würde, daß diese Lücken lediglich durch eine Schrumpfung der Samenkanälchen allein entstehen. Es ergab sich, wie vorauszusehen war, daß bei dieser zweiten Berechnungsart im Gegensatz zur ersten die Samenkanälchen etwas besser und die Zwischenzellen etwas schlechter abschnitten. Aber zahlenmäßig war der Unterschied so gering, daß wir in dieser Hinsicht völlig beruhigt sein konnten. Selbst in dem Falle, in welchem die artifiziellen Lücken unter allen unseren Objekten dieser Art (Prot. Nr. 10, l.), am stärksten entwickelt waren, betrug die Differenz zwischen der absoluten Menge der Zwischenzellen bei beiden Arten der Berechnung nicht mehr, als $^1/_4$ des größeren der beiden Werte, d. h. bei der zweiten Art der Berechnung bekommt man um $^1/_4$ weniger als bei der ersten Art. Im übrigen aber waren die Differenzen durchwegs noch viel unwesentlicher. Die von uns im folgenden für den Grad der absoluten Vermehrung des Zwischengewebes bei der Röntgenatrophie angegebenen Zahlen dürften daher im schlimmsten Falle um eine Kleinigkeit, unter keinen Umständen aber um mehr als $^1/_4$ zu reduzieren sein. Das grundsätzliche Endergebnis wird davon nicht tangiert.

Noch eine grundsätzliche Frage ist bei der Stieve-Methode zu diskutieren: Stieve macht bei der Berechnung der Mengenverhältnisse keinen Unterschied zwischen Zwischengewebe und Zwischenzellen. Dieses Vorgehen ist von Benoit (1922) und von Lipschütz (1923) bemängelt worden. Bei dem Vorgehen von Stieve würden auch die Gefäße zu Unrecht mitgerechnet und vor allem das gewöhnliche Bindegewebe. Das Vorgehen von Stieve könne sogar dazu führen, von einem Hoden mit Fibrosis testis zu behaupten, es hätte hier eine ungeheure Vermehrung der Zwischenzellen stattgefunden. Wir halten diese Einwände, denen sich auch F. Levy 1924 in einem Referat anschließt, für unberechtigt. Der Einwand, daß die Gefäße mitgerechnet werden, ist im allgemeinen unwesentlich. Er spielt eine gewisse Rolle nur in bestimmten Fällen von Brunstveränderungen des Hodens, wo bei dem Eintritt der Brunst das Gefäßnetz eine wesentliche Erweiterung erfährt. Im übrigen wird man größere Gefäße, die auch bei schwacher Vergrößerung im histologischen Schnitt deutlich sind, natürlich bei der Berechnung eliminieren, und das hat unseres Wissens auch Stieve getan. Der Einwand aber, daß zu Unrecht auch das gewöhnliche Bindegewebe mitgerechnet würde, ist nach zwei Richtungen hin zu prüfen. Sofern ansehnliche Mengen fibrillärer Substanz bei dieser Berechnung mit den Zwischenzellen in einen Topf geworfen würden, wäre das allerdings ein Fehler. Aber die fibrilläre Interzellularsubstanz spielt im Nagetierhoden eine verschwindende Rolle. Ganz anders liegen in dieser Hinsicht die Verhältnisse im menschlichen Hoden. Hier ist das fibrilläre Bindegewebe ein Faktor, mit dem

zu rechnen ist, und die Stieve-Methode ist deshalb hier etwas zu modifizieren (siehe darüber Slotopolsky und Schinz, 1925). Beim Nagetierhoden und auch bei allen anderen Spezies, mit denen Stieve gearbeitet hat, ist nur die Frage zu erwähnen, ob man gewöhnliche Bindegewebszellen und Zwischenzellen zusammenwerfen darf. Die Untersuchungen namentlich von Stieve sprechen sehr dafür, daß die Zwischenzellen nichts weiter als ein vorübergehendes Umwandlungsstadium von Bindegewebszellen, daß sie nur mit Lipoiden aufgefüllte Bindegewebszellen sein dürften. So hat Stieve (1922) festgestellt, daß im Zwischengewebe des jugendlichen Gänsehodens der Plasmaleib aller Zellen, von den voll entwickelten Zwischenzellen an bis herab zu den feinsten spindelförmigen Gebilden, mit osmierbaren bzw. durch Sudan III darstellbaren Granulis erfüllt ist, während die Zellen im Inneren der Samenkanälchen von derartigen Einlagerungen vollkommen frei sind. Die Menge der lipoiden Granula steht dabei jeweils in direkter Proportion zur Größe des Zelleibes. Man kann aber auch umgekehrt sagen: Die Größe des Zelleibes der Zwischengewebszellen und damit ihre morphologische Erscheinungsweise als „gewöhnliche Bindegewebszellen" oder „Leydigsche Zwischenzellen" hängt lediglich von der Menge der eingelagerten Lipoide ab. Stieve, der ausdrücklich auf dem Standpunkte steht, daß man als Zwischenzellen alle Gebilde im Interstitium des Hodens zu bezeichnen hat, deren Plasmaleib osmierbare Granula enthält, mögen sie sich im übrigen hinsichtlich ihrer Form verhalten, wie sie wollen, handelt also durchaus konsequent, wenn er bei seinen Mengenbestimmungen das ganze Zwischengewebe als eine Einheit betrachtet. Aber ganz abgesehen davon, selbst wenn man sich auf den Standpunkt stellen wollte, daß Zwischenzellen eine Zellart sui generis sind und daß sie mit den gewöhnlichen Bindegewebszellen des Hodeninterstitiums nichts zu tun haben — ein Standpunkt, den, soweit die morphologischen Beziehungen in Betracht kommen, ja nicht einmal Bouin und Ancel (1903), Tandler und Groß (1913) oder Lipschütz (1919) vertreten —, so würde dennoch zur Mengenbestimmung kein anderes Verfahren möglich sein als das von Stieve. In unseren röntgenatrophischen Hoden mit Hypertrophie des Zwischengewebes liegen gewöhnliche Bindegewebszellen und Zwischenzellen so eng gedrängt beieinander und so sehr durcheinandergewürfelt, daß es überhaupt nicht möglich ist, sie voneinander zu trennen. Entweder müßte man hier auf jede Möglichkeit einer annähernden Bestimmung der absoluten Mengenverhältnisse überhaupt verzichten, oder man muß es so machen, wie Stieve es gemacht hat.

Zur Berechnung der absoluten Mengenverhältnisse bestimmt Stieve vor der Fixierung das Gesamtvolumen des betreffenden Testikels. Er faßt den Testikel als ein Rotationsellipsoid auf und berechnet sein Volumen demgemäß aus dem langen und aus dem kurzen Durchmesser nach der Formel $4/3\,\pi \cdot a\,b^2$, wobei 2 a die Drehachse ist und 2 b in unserem Falle die kurze Achse. Diese Art, das Volumen zu bestimmen, ist manchmal nicht ganz unbedenklich, nämlich dann, wenn, wie das bei unseren Kaninchenhoden oft der Fall war, der Hoden an dem einen seiner Pole bedeutend dicker ist als an dem anderen (der Kaninchenhoden verjüngt sich manchmal recht erheblich gegen den unteren Pol hin). Natürlich wird man sich in solchen Fällen so zu helfen suchen, daß man die Dicke auf mittlerer Höhe des Organes als kleinen Durchmesser des Rotationsellipsoides nimmt. Aber man muß sich fragen, ob es überhaupt notwendig ist, für die Berechnung nach Stieve das Volumen zu verwenden, und ob man nicht statt dessen einfach das Gewicht nehmen kann. Es erscheint dies in der Tat zulässig, wenn man voraussetzen darf, daß das spezifische Gewicht des generativen und des intergenerativen Anteils des Hodens gleich groß ist. Wir haben zur Entscheidung dieser Frage an einer größeren Anzahl von normalen und atrophischen Kaninchen- und Rattenhoden das Volumen berechnet und das Gewicht bestimmt, und es hat sich dabei ergeben, daß das

spezifische Gewicht des Hodens als Ganzes immer ungefähr gleich 1 ist[1]), gleichviel, ob er relativ sehr wenig Zwischengewebe enthält, wie das bei normalen Testikeln, oder relativ sehr viel Zwischengewebe, wie das bei atrophischen Hoden der Fall ist. Wir haben demgemäß, da das Gewicht sich ja leichter genau bestimmen läßt, all unseren Berechnungen das Gewicht der betreffenden Testikel zugrunde gelegt (natürlich nach sorgfältigem Abpräparieren von Nebenhoden und Fettkörper).

Wir wollen nunmehr über die so erhaltenen Resultate berichten: Als Testobjekte verwandten wir die beiden normalen Hoden eines ca. 1 Jahr alten geschlechtsreifen Kaninchens und ferner die 4 Hoden von 2 weiteren normalen, aber ca. 2 Jahre alten Individuen. Es handelt sich um die Prot.-Nr. A (ca. 1 Jahr alt), B und 28 (ca. 2 Jahre alt). Die Berechnung ergab:

Abb. 26. Aus einem normalen, geschlechtsreifen Kaninchenhoden. Übersichtsbild zur Veranschaulichung der relativen Mengenverhältnisse von generativen und intergenerativen Geweben. Weiß = Samenkanälchen, schwarz = Zwischengewebe, schraffiert = artifizielle Lücken. Haematox. Eosin. Sublimat-Eisessig-Formol nach Stieve. Die den Abb. 27—30 zugrunde liegenden Präparate sind in gleicher Weise hergestellt. In dem vorliegenden normalen Kaninchenhoden entfallen 5% auf das Zwischengewebe und 95% auf das generative Gewebe, in absoluten Werten 0,085 g Zwischengewebe und 1,615 g generatives Gewebe.

Der rechte Hoden von Kaninchen A wiegt 1,7 g und enthält 5% Zwischengewebe und 95% generatives Gewebe. Also auf das Zwischengewebe entfallen 0,085 g, auf das generative Gewebe 1,615 g. Der linke Hoden von A (vgl. Abb. 26), wiegt 1,75 g. Er enthält ebenfalls 5% Zwischengewebe und 95% generatives Gewebe. Auf das Zwischengewebe entfallen hier demgemäß 0,0875 g, auf das generative Gewebe 1,6625 g. Durchschnittlich beträgt demgemäß die Masse des Zwischengewebes in einem von einem ca. 1 Jahr alten Tiere stammenden normalen geschlechtsreifen Kaninchenhoden ca. 0,086 g,

[1]) Das spezifische Gewicht eines frischen Kaninchenhodens bestimmten wir bei Volumbestimmung durch Wägung des verdrängten Wassers zu 1,038.

während die Masse des generativen Anteils hier durchschnittlich 1,643 g, also ungefähr das 20fache beträgt.

Der rechte Hoden von Kaninchen B wiegt 2,8 g. Er enthält 4,3 % Zwischengewebe, 95,7 % generatives Gewebe. Die absolute Menge des Zwischengewebes beträgt mithin 0,12 g, die des generativen Gewebes 2,68 g. Der linke Hoden desselben Tieres wiegt 3,15 g. Er enthält ebenfalls 4,3 % Zwischengewebe und 95,7 % generatives Gewebe. Die absolute Menge des Zwischengewebes beträgt hier demgemäß 0,135 g, die des generativen Gewebes 3,02 g.

Der rechte Hoden von Kaninchen 28 wiegt 2,6 g. Er enthält 4,25 % Zwischengewebe, 95,75 % generatives Gewebe. Die absolute Menge des Zwischengewebes beträgt hier

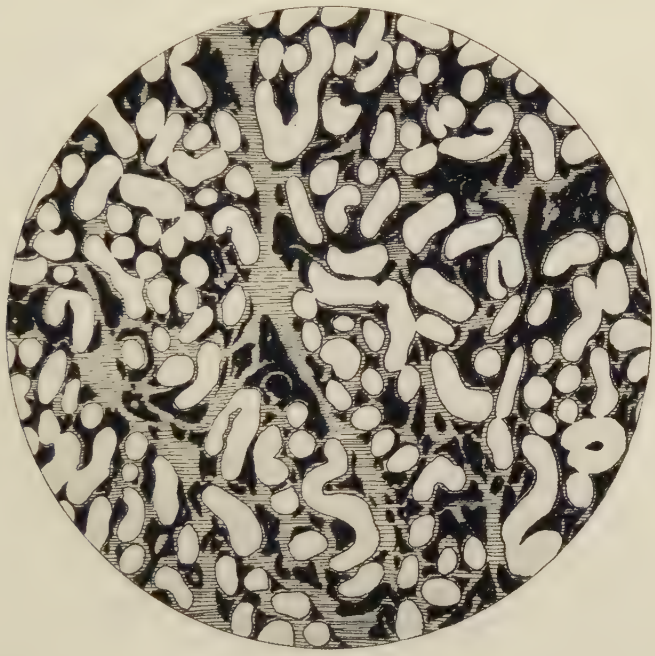


Abb. 27. Aus einem röntgenatrophischen Kaninchenhoden (Prot. Nr. 10, l.). Einmalige Bestrahlung mit 3 H.E.D., 38 Tage später. Haematox. Eosin. Übersichtsbild zur Veranschaulichung der relativen Mengenverhältnisse von generativem und intergenerativem Gewebe. Die Menge des Zwischengewebes beträgt 60 %, die des generativen 40 %, oder in absoluten Werten 0,432 g gegen 0,288 g. Das Zwischengewebe ist hier also auch absolut vermehrt, auf das 2½fache gegenüber dem Normalen.

0,11 g, die des generativen Gewebes 2,49 g. Der linke Hoden desselben Tieres wiegt 2,45 g. Er enthält 4,7 % Zwischengewebe und 95,3 % generatives Gewebe. Die absolute Menge des Zwischengewebes beträgt hier demgemäß 0,115 g, die des generativen Gewebes 2,335 g.

Es ergibt sich: das Hodengewicht bei einem ca. 1 Jahr alten Kaninchen beträgt ungefähr 1,73 g. Davon sind ca. 1,643 g generatives Gewebe, 0,086 g Zwischengewebe. Bei einem 2 jährigen Kaninchen ist das Durchschnittsgewicht des Hodens ca. 2,75 g. Davon sind 4,4 % = 2,63 g generatives Gewebe und 15,6 % = 0,12 g Zwischengewebe.

Berechnet man aus den bei dem 1 jährigen und bei den 2 jährigen Tieren gefundenen Zahlen einen gemeinsamen Durchschnitt, so ergibt sich: Ein normaler geschlechtsreifer

Kaninchenhoden enthält ca. 0,1 g Zwischengewebe. Es scheint uns gleichwohl richtiger, statt dieses Wertes den bei dem einjährigen Tiere gefundenen Wert von 0,086 g den nunmehr folgenden Berechnungen an röntgenatrophischen Kaninchenhoden zugrunde zu legen, weil die betreffenden Versuche gleichfalls an ca. 1 Jahr alten Tieren ausgeführt wurden und deshalb in diesen Fällen ein ähnlicher Ausgangszustand wie bei dem auf die absoluten Mengenverhältnisse in seinen Testikeln untersuchten 1 Jahr alten Testindividuum A bestanden haben wird.

Die Berechnung der absoluten Mengenverhältnisse in röntgenatrophischen Hoden haben wir in 4 Fällen vorgenommen, bei denen sämtlich eine schwere Atrophie 4. Grades vorlag. Es handelt sich um die Prot. Nr. 10 l., Prot. Nr. 15 r., Prot. Nr. 16 l. und Prot.

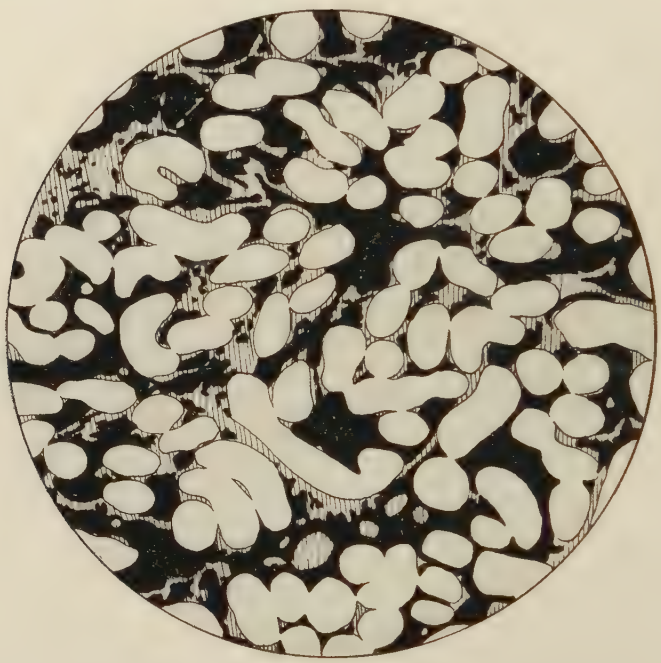


Abb. 28. Aus einem röntgenatrophischen Kaninchenhoden (Prot. Nr. 15, r.). Einmalige Bestrahlung mit 4 H.E.D., 30 Tage nachher. Haematox. Eosin. Es besteht eine starke relative Vermehrung des Zwischengewebes. Generatives Gewebe = 32%, Zwischengewebe = 68%. Die absolute Vermehrung des Zwischengewebes tritt neben der relativen sehr zurück. Absolute Menge des Zwischengewebes gegenüber einem normalen Hoden auf ca. das $1^3/_4$fache vermehrt.

Nr. 21, l., wobei allemal eine Reduktion des Wandbelages bis auf die Sertolizellen mit starker Schrumpfung der Kanälchen und mehr oder minder starker relativer Vermehrung des Zwischengewebes 38 Tage, 30 Tage, 35 Tage und 25 Tage nach einer Bestrahlung mit 3, 4, 4 und 15 H.E.D. bestand.

Der Hoden Nr. 10 l. (vgl. Abb. 27) wiegt 0,72 g und enthält ca. 60%, d. h. ca. 0,432 g generatives und ca. 40%, d. h. 0,288 g Zwischengewebe. Gegenüber einem normalen Testikel eines ungefähr gleichaltrigen Individuums, der, wie oben ausgeführt, ca. 0,086 g Zwischengewebe enthält, ist das Zwischengewebe also hier auf das $3^1/_3$fache, genauer: um 235% vermehrt.

Der Hoden Nr. 15 r. (vgl. Abb. 28) wiegt 0,44 g. Er enthält ca. 68%, d. h.

0,3 g generatives und ungefähr 32 %, d. h. 0,14 g Zwischengewebe. Das Zwischengewebe ist demgemäß hier einem normalen Hoden gegenüber auf das ca. $1^2/_3$fache, genauer: um 63 % vermehrt.

Der Hoden Nr. 16 l. (vgl. Abb. 29) wiegt 0,32 g. Er enthält ca. 40 %, d. h. 0,128 g generatives und ca. 60 %, d. h. 0,192 g Zwischengewebe. Das Zwischengewebe ist mithin hier einem normalen Testikel gegenüber auf das ca. $2^1/_4$fache, genauer: um 124 % vermehrt.

Der Hoden Nr. 21 l. (vgl. Abb. 30) wiegt 0,38 g. Er enthält ca. 60 %, d. h. 0,228 g generatives und ca. 40 %, d. h. 0,152 g Zwischengewebe. Das Zwischengewebe ist demgemäß hier auf das ca. $1^2/_3$fache, genauer: um 77 % vermehrt.

Abb. 29. Aus einem röntgenatrophischen Kaninchenhoden (Prot. Nr. 16, l.). 35 Tage nach einmaliger Applikation von 4 H.E.D. Haematox. Eosin. Enorme relative Vermehrung des Zwischengewebes. Generatives Gewebe = 40 %, Zwischengewebe = 60 %. Die sehr geringfügige absolute Vermehrung des Zwischengewebes (absolute Menge des Zwischengewebes hier 0,192 g) tritt demgegenüber ganz in den Hintergrund. Die Abbildung zeigt, welchen verhängnisvollen Täuschungen eine reine Schätzung der absoluten Mengenverhältnisse unterliegt.

Für den Fall, daß man beanstanden sollte, daß wir diesen Berechnungen Vergleichswerte aus Hoden zugrunde gelegt haben, die nur ca. 1,75 g wogen, während wir ja selbst bei anderen Kaninchen größere Hodengewichte, sogar bis zu 3,15 g, gefunden haben, wollen wir noch angeben, wie das Resultat ist, wenn man als normale Menge des Zwischengewebes einen Wert zugrunde legt, bei dessen Berechnung auch die schwereren Testikel der 2jährigen Tiere mit einbezogen wurden, also den Wert von 0,1 g. Auch dann würde bei unseren 4 Fällen von Röntgenatrophie eine absolute Zunahme des Zwischengewebes vorliegen, wenn auch nur um 188 %, um 40 %, um 92 % und um 52 %.

Die absolute Hypertrophie des Zwischengewebes in diesen Fällen steht also bei

beiden Arten der Berechnung außer Zweifel. Im übrigen ziehen wir, wie oben begründet, die erste Art der Berechnung vor und kommen daher zu dem Resultat, daß in röntgenbestrahlten Hoden, die eine Atrophie 4. Grades aufweisen, das Zwischengewebe eine Vermehrung um 63—235% aufweist. Durchschnittlich beträgt die Vermehrung in unseren Fällen 149%, sagen wir 150%. Man kann also schematisch sagen: In einem röntgenatrophischen Hoden ist das Zwischengewebe im Durchschnitt ungefähr auf das $2^1/_2$fache vermehrt. Die Tabelle 4 zeigt alle die gefundenen Werte bei normalen und bei röntgenatrophischen Kaninchen.

Diese Werte wären allerdings um ein Geringes zu reduzieren, wenn man die gelegentlich in den Präparaten auftretenden kleineren oder größeren artifiziellen Lücken in die Rechnung mit einbeziehen

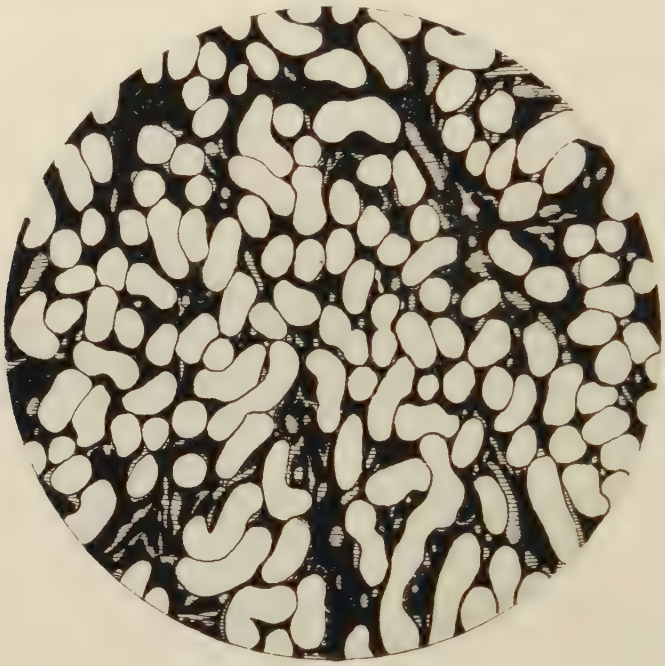


Abb. 30. Aus einem röntgenatrophischen Kaninchenhoden (Prot. Nr. 21, l.), 25 Tage nach einmaliger Bestrahlung mit 15 H.E.D. Haematox. Eosin. Starke relative Vermehrung des Zwischengewebes. Generatives Gewebe = 60%, Zwischengewebe = 40%. Absolute Vermehrung des Zwischengewebes ganz unbedeutend 0,152 g.

und den Samenkanälchen zurechnen wollte, während wir sie aus der Berechnung jeweils ausgeschaltet haben (siehe darüber S. 496). In dem Falle von Kaninchen Nr. 15 r., wo diese artifiziellen Lücken relativ reichlich ausgebildet sind, finden wir beim Ausschneiden aus den Kartons durchschnittlich: Kunstprodukte 1,05 g, Zwischengewebe 2,325 g, Samenkanälchen 4,925 g, Summa 8,3 g. Davon Zwischenzellen 2,325 g = 28%. Das Gesamtgewicht dieses Hodens beträgt 0,44 g. Demgemäß enthält er 0,123 g Zwischengewebe. Bei der oben angegebenen Art der Berechnung ergab sich demgegenüber für das Zwischengewebe der Wert von 0,14 g. Man sieht, es ist eine kleine Differenz. Wenn man nunmehr den Grad der Zwischengewebsvermehrung in diesem Hoden feststellt, so beträgt er nach der oben gegebenen Art der Berechnung, wie dort angegeben, 63%, d. h. gegenüber einem normalen Hoden eines gleichaltrigen Tieres ist das Zwischengewebe in dem röntgenatrophischen Hoden des Kaninchens Nr. 15 r. um 63% vermehrt. Wendet man aber die hier gegebene, etwas abweichende Art der Berechnung an, so ergibt sich ein etwas geringerer Wert: Als durchschnittliche Normalmenge des Zwischengewebes bei einem ca. 1 Jahr alten Tiere haben wir dann nicht 0,086 g, wie bei der obigen Art der Berechnung, sondern nur 0,08 g anzunehmen. Dem gegenüber steht dann beim Kaninchen

Tabelle 4. Quantitative Zahlenangaben über das Zwischengewebe bei normalen und bei röntgenatrophischen Kaninchenhoden.

Prot. Nr.	Gesamtmasse des Hodens	Davon generatives Gewebe	Davon Zwischengewebe	Absolute Menge des generativen Gewebes	Absolute Menge des Zwischengewebes	Zwischengewebe absolut vermehrt um
B r. ca. 2 J. alt	2,8 g	95,7%	4,3%	2,68 g	0,12 g	—
B l. ca. 2 J. alt	3,15 g	95,7%	4,3%	3,02 g	0,13 g	—
28 r. ca. 2 J. alt	2,6 g	95,75%	4,25%	2,49 g	0,11 g	—
28 l. ca. 2 J. alt	2,45 g	95,3%	4,7%	2,335 g	0,115 g	—
A r. ca. 1 J. alt	1,7 g	95%	5%	1,615 g	0,085 g	—
A l. ca. 1 J. alt	1,75 g	95%	5%	1,6625 g	0,0875 g	—
10 l. ca. 1 J. alt	0,72 g	60%	40%	0,432 g	0,288 g	235%
15 r. ca. 1 J. alt	0,44 g	68%	32%	0,3 g	0,14 g	63%
16 l. ca. 1 J. alt	0,32 g	40%	60%	0,128 g	0,192 g	124%
21 l. ca. 1 J. alt	0,38 g	60%	40%	0,228 g	0,152 g	77%

15 r. ein Wert von 0,123 g. Das bedeutet eine absolute Zwischengewebsvermehrung um 53,7%. Während also in diesem Hoden nach der oben gegebenen Art der Berechnung, vermittels derer alle oben angegebenen Zahlen gewonnen wurden, eine Zunahme des Zwischengewebes um 63% vorliegt, besteht nach der hier gegebenen Berechnungsweise nur eine solche um 53,7%. Aber auch diese Differenz ist im Grunde außerordentlich klein und vermag prinzipiell an dem Resultate nichts zu ändern. Selbst in dem Falle des Kaninchens Nr. 10 l., wo die artifiziellen Lücken noch stärker hervortreten, ist die Differenz nicht wesentlich größer, bei allen übrigen Fällen aber weitaus kleiner. Die oben gegebenen Werte behalten daher grundsätzlich volle Gültigkeit.

Dieses Ergebnis, das zwar die bisher vielfach ausgesprochene Ansicht von einer absoluten Vermehrung des Zwischengewebes bei der Röntgenatrophie in einer gewissen Hinsicht bestätigt, zeigt aber gleichzeitig aufs deutlichste, wie außerordentlich groß der Unterschied zwischen der absoluten und der relativen Zwischengewebsvermehrung ist. Im normalen Kaninchenhoden nimmt das Zwischengewebe knapp 5% des Gesamtvolumens ein, in röntgenatrophischen Kaninchenhoden dagegen 30—60%. Relativ ist daher das Zwischengewebe bei der Röntgenatrophie auf das 6—12fache, absolut aber nur ungefähr auf das $2^1/_2$fache vermehrt. Besonders instruktiv ist in dieser Hin-

sicht die Betrachtung der Abb. 31 von Kaninchen Nr. 16 l. Wer sich bloß auf die Betrachtung des Schnittbildes stützt, könnte meinen, daß hier eine ungeheure Vermehrung des Zwischengewebes vorliegt. In Wirklichkeit beträgt diese aber nur 124%.

Sieht man von den relativen Mengenverschiebungen ab und macht man sich in absoluten Zahlen klar, was bei der Röntgenatrophie des Hodens eigentlich passiert, so muß man trotz der absoluten Zwischengewebsvermehrung sagen: Die wesentlichen

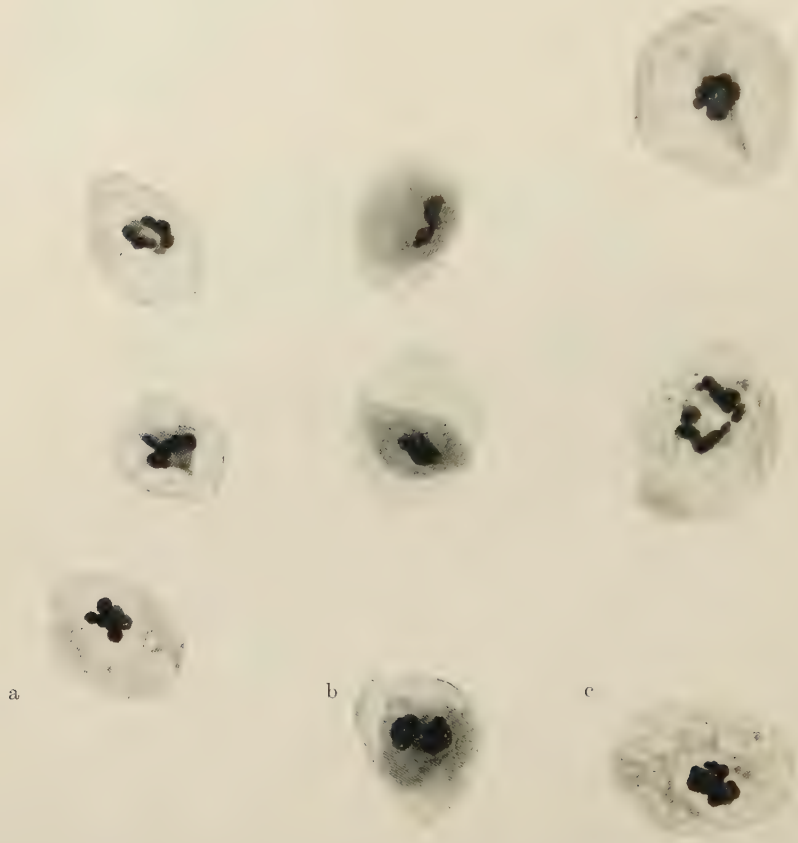


Abb. 31. Mitosenbilder. Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 15 ×. Ap. 09. a) Normale Reifeteilungen, sofort nach Bestrahlung mit 2 H.E.D. (rot. Nr. 28, r.). Der Vergleich mit unbestrahlten Mitosen läßt keine Unterschiede erkennen. b) Nekrotische Mitose 2 Stunden nach Bestrahlung mit 15 H.E.D. (Prot. Nr. 27, r.). Die einzelnen Chromosomen sind verklumpt, das Protoplasma ist stark oxyphil. c) Normale Mitose 4 Stunden nach Bestrahlung mit 30 H.E.D. (Prot. Nr. 18, l.). In diesem Hoden waren viele normale Mitosen und gar keine Mitosenleichen feststellbar. Eine exquisite Sensibilität der Reifeteilungen scheint also nicht zu bestehen.

quantitativen Veränderungen betreffen eigentlich nur den generativen Anteil. Dieser vermindert seine Masse von durchschnittlich 1,66 g im normalen Hoden auf durchschnittlich 0,27 g im röntgenatrophischen. Das Zwischengewebe aber vermehrt seine Masse nur von ungefähr 0,086 g auf ungefähr 0,215 g. Es erscheint in der Tat nicht von gar großer Bedeutung, daß in einem röntgenatrophischen Hoden ca. 0,2 g Zwischengewebe gegenüber ca. 0,08 g in einem normalen vorhanden sind. Die Vorstellung von einer ungeheuren „Wucherung der Pubertätsdrüse", die man aus einer bloßen Betrachtung

der Schnitte sich leicht bilden könnte und jedenfalls auch vielfach gebildet hat, wird schon damit auf ihr richtiges Maß zurückgeführt.

Die absolute Hypertrophie des Zwischengewebes im Röntgenhoden ist im wesentlichen eine Hypertrophie der Zwischenzellen. Wieweit es sich bei dieser aber um wirkliche Zellvermehrung handelt, muß dahingestellt bleiben. Man könnte sich gut vorstellen, daß die Hypertrophie lediglich durch Vergrößerung des Plasmaleibes der bereits vorhandenen Zwischenzellen zustande kommt. Evtl. könnte dazu noch eine „Auffüllung" weiterer Bindegewebszellen mit Lipoiden kommen, d. h. eine Zwischenzellvermehrung durch „Apposition". Man käme damit um die Schwierigkeit herum, wie man eine Vermehrung von Elementen erklären soll, an denen Zellteilungen ja doch nur als ganz seltene Ausnahme beobachtet worden sind.

Unter Hunderten von Präparaten mit relativer und absoluter Zwischenzellhypertrophie haben wir ein einziges Mal in einem Zwischenzellhaufen um ein atrophierendes Samenkanälchen in einem menschlichen Hoden eine sichere Zwischenzellmitose gesehen. Die häufiger beschriebenen Amitosen von Zwischenzellen haben wir ebenfalls häufiger, speziell im Rattenhoden zu sehen bekommen. Wir sind aber in Übereinstimmung mit der Mehrzahl der Autoren, z. B. Regaud (siehe Sénat, 1900), der Ansicht, daß es sich hierbei lediglich um eher degenerative Vorgänge an alten Elementen handelt, die nur zu Zweikernigkeit, aber nicht zu wirklicher Zellvermehrung führen. Die von Stieve beschriebene wirkliche Zwischenzellvermehrung durch Amitose im Vorbrunsthoden der Gans (Stieve, 1922) möchten wir einstweilen nur als eine interessante Ausnahme betrachten.

Die absolute Hypertrophie des Zwischengewebes und der Zwischenzellen im Röntgenhoden, wenn sie auch, wie gesagt, nicht bedeutend ist, bedarf nichtsdestoweniger einer Erklärung. Grundsätzlich kommen 4 Erklärungsmöglichkeiten in Betracht: 1. Das Zwischengewebe hypertrophiert infolge einer direkten Reizwirkung der Röntgenstrahlen. 2. Das Zwischengewebe hypertrophiert durch Resorption zerfallenen Samenepithels. 3. Das Zwischengewebe hypertrophiert, weil infolge der Schrumpfung der Samenkanälchen der sonst auf ihm lastende Druck fortfällt und dieser Fortfall einen Wachstumsreiz darstellt, e vacuo. 4. Das Zwischengewebe hypertrophiert infolge der Zufuhr von nach dem Untergange des Samenepithels überschüssigem Nährmaterial zum Hoden.

Die Erklärung der Zwischengewebshypertrophie durch direkte Reizwirkung der Röntgenstrahlen ist unseres Erachtens abzulehnen, weil eine Hypertrophie des Zwischengewebes auch bei allen möglichen anderen Hodenatrophien in genau derselben Weise eintritt. Diejenigen, die eine Röntgenreizwirkung auf die Pubertätsdrüse annehmen und deshalb Röntgenbestrahlungen der Hoden zu Verjüngungs- oder ähnlichen Zwecken empfehlen, sollten sich vor Augen halten, daß 1. die absolute Vermehrung der Zwischenzellen im Röntgenhoden sehr viel geringer ist, als es bei Betrachtung von Schnitten den Anschein hat, 2. daß nicht die Bestrahlung direkt als solche die Ursache der Zwischenzellhypertrophie repräsentiert und 3. daß die neueren Untersuchungen über die Hodeninkretion im allgemeinen immer mehr zugunsten einer Bildung des Inkretes durch den generativen Anteil sprechen.

Eine Erklärung der Zwischengewebshypertrophie durch Resorption von zerfallenem Samenepithel kommt beim Röntgenhoden kaum in Betracht. Bei der typischen Verlaufsweise der Röntgenatrophie des Hodens, d. h. nach Applikation mäßiger Dosen, spielt, wie wir in dieser Arbeit mehrfach betont haben, der Zerfall von Samenepithel praktisch überhaupt keine Rolle. Unter unseren Versuchstieren sind aber Nr. 16 l. und 15, r. nur mit 4 H.E.D., ja Nr. 10 l., welches die stärkste Zwischengewebshypertrophie aufweist, nur mit 3 H.E.D. bestrahlt worden.

Es kommen daher nur die beiden anderen Erklärungen in Betracht. Gegen die Annahme einer Zwischengewebshypertrophie infolge von trotz der Atrophie des generativen Anteils unverändertem oder nur wenig reduziertem Blutzufluß zum Testikel

scheinen allgemein-physiologische Bedenken zu bestehen (Biers Blutgefühl und die von W. R. Heß entwickelten Vorstellungen über die Regulierung des Blutkreislaufes). Man könnte sich aber denken, daß das „Blutgefühl" des Hodens an das Zwischengewebe gebunden ist, und daß deshalb der Blutzufluß trotz der Atrophie des generativen Anteils unverändert bleibt. Die Hypertrophie des Zwischengewebes würde dann dadurch zustande kommen, daß die Samenkanälchen dem Zwischengewebe kaum mehr etwas „abnehmen".

Die Annahme einer Zwischengewebswucherung e vacuo, einer „raumfüllenden Hypertrophie", ist an sich recht plausibel, bietet aber die Schwierigkeit, daß die Zwischenzellen ja einer selbständigen Vermehrung nicht fähig sind. Aber man könnte gut annehmen — und auch dann stünden wir mit den Vorstellungen von Bier und Heß wohl durchaus im Einklang —, daß die bei Schrumpfung der Samenkanälchen eintretende Tendenz des Zwischengewebes zu raumfüllender Hypertrophie einen mehr oder minder unveränderten Blutzufluß zum Testikel auch nach dem Verschwinden des Samenepithels zur Folge hat und daß dieser dann zu einer Hypertrophie der vorhandenen Zwischenzellen und zu einer Auffüllung weiterer Bindegewebszellen mit Lipoiden führt. Also etwa folgendermaßen:

Die Schrumpfung der geleerten Samenkanälchen ruft im Zwischengewebe eine Tendenz zu raumfüllender Hypertrophie hervor. Diese bedingt die Aufrechterhaltung eines genügenden Blutzuflusses zum Testikel. Das nunmehr überschüssige Nährmittel führt zur Vergrößerung der bereits vorhandenen und zur Neubildung weiterer Zwischenzellen aus gewöhnlichen Bindegewebszellen. Daneben könnte natürlich auch noch eine wirkliche Vermehrung von Bindegewebszellen durch Teilung eine Rolle spielen.

Hingegen sind wir der Meinung, daß unter anderen Umständen, nämlich wenn bei einer Hodenatrophie das Samenepithel nekrobiotisch zerfällt, daß dann auch dieser Faktor bei der Zwischengewebshypertrophie eine Rolle spielen kann. Wir denken dabei namentlich an Bilder, die wir im menschlichen Hoden gesehen haben, wo um einzelne atrophierende, noch gar nicht wesentlich geschrumpfte Samenkanälchen herum ganz isoliert eine außerordentliche herdweise Zwischenzellvermehrung zu konstatieren war (s. Slotopolsky und Schinz, 1925). Hier hat man entschieden den Eindruck, daß es die Resorption zerfallenden Samenepithels ist, die die Zwischengewebshypertrophie, d. h. eine Vergrößerung der vorhandenen Zwischenzellen und eine Neuauffüllung weiterer Bindegewebszellen, evtl. auch eine Teilung von solchen hervorruft[1]). Unsere Resultate bei der Röntgenatrophie des Hodens zeigen nur, daß eine Resorption von zerfallenden Samenepithelien für das Zustandekommen einer Zwischengewebshypertrophie nicht unbedingt notwendig ist; sie beweisen aber natürlich keineswegs, daß dergleichen überhaupt nicht vorkommt. Stieve (1923) geht unseres Erachtens zu weit, wenn er annimmt, daß die Resorption des zerfallenden Samenepithels bei involutiven Vorgängen am Hoden nur im Nebenhoden erfolgt und daß Zwischengewebe bzw. Zwischenzellen an ihr keinesfalls beteiligt sind. Am menschlichen Hoden konnten wir einmal, wie seinerzeit bereits Spangaro (1902), ein Eindringen von Zwischenzellen in atrophische Samenzellenkanälchen beobachten (s. Slotopolsky und Schinz, 1925), was doch darauf hinweist, daß die Zwischenzellen nicht lediglich eine Speicherfunktion, sondern doch wohl auch phagozytäre Funktionen besitzen. Wir sind in der Tat der Ansicht, daß das Zwischengewebe, insbesondere die Zwischenzellen, als eine Art „Leber" zwischen Samenkanälchen und Blut zwischengeschaltet sind und daß nicht nur der Weg vom Blut in die Zwischenzellen und dann evtl. von diesen in die Samenkanälchen, sondern auch umgekehrt der Weg

[1]) Die teleologische Erklärung Kyrles (1911), der in solchen Vorgängen einen Prozeß sieht, der eine allfällige Regeneration des Samenepithels ermöglichen soll, sagt uns nicht zu.

von den Samenkanälchen in die Zwischenzellen und von diesen evtl. ins Blut, je nach den Umständen, begangen wird. Auch eine Mitwirkung der Zwischenzellen bei der Hodeninkretion im Sinne von Berblinger, Romeis und Harms sowie eine Schutzfunktion der Zwischenzellen für den generativen Anteil im Sinne von Kitahara halten wir demgemäß für durchaus möglich. Morphologisch sind die Zwischenzellen jedenfalls nichts weiter als eine Modifikation des Bindegewebes, dessen speichernde und phagozytäre, kurz trophische Funktionen im weitesten Sinne sich auch an anderen Stellen des Organismus bewähren. Physiologisch sind sie am ehesten dem Fettgewebe, der Leber und den Plexus chorioidei (mit ihrer Schutzfunktion für das Gehirn im Sinne von v. Monakow) zu vergleichen.

VII. Die Mitosen.

Es gibt heute in der Röntgenbiologie und Röntgentherapie eine „Mitosenfrage". Röntgenbiologen und Röntgentherapeuten stehen heute allgemein auf dem Standpunkte, daß die Zelle im Stadium der Mitose eine besondere Radiosensibilität aufweist. Man beschäftigt sich zur Zeit mit der Unterfrage, in welcher Phase der Mitose wiederum die Empfindlichkeitssteigerung maximal ist, und man versucht anderseits die gewonnenen Erkenntnisse auf diesem Gebiete für die Strahlentherapie praktisch nutzbar zu machen (s. z. B. die Disskusion über den karyokinetischen Index, de Nabias und Forestier [1923] und Regaud [1923]). In den Grundlagen der ganzen Anschauung besteht aber eine merkwürdige Inkongruenz mit den Befunden Mohrs (1919), der gerade im Hoden, diesem sonst so röntgensensibeln und so mitosenreichen Organe, die besondere Empfindlichkeit der Mitosen bestreitet und die jungen Spermiozyten als viel empfindlicher bezeichnet. Im Gegensatz dazu stehen die Angaben der Regaudschen Schule (s. z. B. Blanc, 1906), daß die von der Bestrahlung getroffenen Mitosen bei Applikation einer mäßigen Dosis, die im übrigen nur ausreicht, um die Spermiogonien zu schädigen, sämtlich unmittelbar zugrunde gehen. Es lag somit für uns nahe, bei unseren Studien über die Röntgenatrophie des Hodens auf das Verhalten der Mitosen besonders zu achten.

Hinsichtlich des Verhaltens der Mitosen gegenüber der Röntgenbestrahlung ist scharf zwischen den unmittelbar von der Bestrahlung getroffenen Mitosen und den Mitosen zu unterscheiden, die sich erst später an Zellen einstellen, die sich während der Bestrahlung im Ruhestadium befanden. In der röntgenbiologischen Literatur wird das fast regelmäßig durcheinandergeworfen. Wie die von der Bestrahlung unmittelbar getroffenen Mitosen sich verhalten, kann man grundsätzlich nur entscheiden, wenn man unmittelbar oder nur ganz kurze Zeit nach der Bestrahlung untersucht, und wenn die Bestrahlung nicht so lange gedauert hat, daß allfällig während der Bestrahlung zugrunde gegangene Mitosen in dieser Zeit bereits resorbiert sein könnten. Wir setzen dabei, in Übereinstimmung mit der herrschenden Ansicht voraus, daß die Dauer einer Mitose im allgemeinen einige Stunden beträgt. Anderseits folgt aber aus dem Umstande, daß mit einer Dauer der Mitosen von immerhin mehreren Stunden zu rechnen ist, wiederum: Wenn man in einem Testikel, der nicht allzulange Zeit bestrahlt wurde, kurze Zeit nach der Bestrahlung ausschließlich normale Mitosen findet, so ist man berechtigt anzunehmen, daß wenigstens ein Teil dieser Mitosen bereits zur Zeit der Bestrahlung im Gange war und also direkt von den Strahlen getroffen wurde.

Dieser Fall ist in unseren Untersuchungen mehrfach verwirklicht, so bei einem sofort nach einer Bestrahlung mit 2 H.E.D. fixierten Testikel (Prot. Nr. 28 r.), bei dem

wir ausschließlich normale Reifeteilungen fanden. Wir haben solche Mitosen aus diesem Hoden auf Abb. 31a abgebildet. Der Vergleich mit unbestrahlten Mitosen läßt keine Unterschiede erkennen. Gewiß ist zuzugeben, daß diese Mitosen nicht so schön aussehen wie z. B. Mitosen bei Amphibien usw. Das hängt damit zusammen, daß wir es mit sehr viel Chromosomen zu tun haben und auch mit sehr kleinen Kernteilungsbildern. Aber wenn wir z. B. diese Mitosen mit den Abbildungen von Regaud über die Mitosen des normalen Rattenhodens vergleichen, so finden wir absolut keine Differenzen. In einem anderen Falle (vgl. Abb. 31b) fanden wir allerdings bei der Untersuchung 2 Stunden nach Beendigung der Bestrahlung mit 15 H.E.D. (Prot. Nr. 27 r.) typische zugrunde gehende Mitosen. Wir glaubten damit den richtigen Zeitpunkt für das Studium der während der Bestrahlung vorhandenen und im Anschluß an die Bestrahlung zugrunde gehenden Mitosen ermittelt zu haben. Direkt nach der Bestrahlung schienen die Mitosen normal, nach einem Latenzstadium von 2 Stunden schienen sie aber abzusterben. Unsicher wurde aber das Resultat dadurch, daß wir über keinen entsprechenden Befund 4 Stunden nach einer Bestrahlung mit 30 H.E.D. (Prot. Nr. 18 l.) berichten können. Obwohl hier die Bestrahlung $4^1/_2$ Stunden dauerte und die Untersuchung erst 4 weitere Stunden später vorgenommen wurde, so macht es doch die Anwesenheit von ausschließlich normalen Reifeteilungen (vgl. Abb. 31c) in diesem Testikel sehr wahrscheinlich, daß wenigstens die Mitosen, die gegen Ende der Bestrahlung in Gang kamen, ruhig weitergeführt wurden. Man ist sogar fast gezwungen, das auch für die zu Beginn der Bestrahlung im Gang gewesenen anzunehmen, weil in dem untersuchten Objekte keine Mitosenleichen im Sinne des „Primäreffektes" von Alberti und Politzer (1923) zu finden sind. Ebensosehr vermißten wir solche in einem unmittelbar nach der Bestrahlung mit $6^1/_2$ H.E.D. untersuchten Testikel (Prot. Nr. 12 r.). Unsere Resultate sind also nicht eindeutig. Sicher ist nur, daß die Mitosen den Spermiogonien gegenüber doch relativ unempfindlich sind; doch ist aus den oben angegebenen Gründen, welche u. a. ja auch bis heute verhindert haben, die Chromosomenzahl des Kaninchens zu bestimmen, das Objekt zur sicheren Entscheidung der Sensibilität der Mitosen ungeeignet, und wir möchten uns deshalb hierüber nur außerordentlich vorsichtig ausdrücken.

Auf Grund der Lektüre der Arbeit von Mohr waren wir, bevor wir diese eigenen Erfahrungen machten, geneigt, eher der Anschauung von Regaud beizupflichten, weil uns die Schlußfolgerungen Mohrs, bei dessen Untersuchungen das minimale Intervall zwischen Bestrahlung und Fixierung 24 Stunden betrug, also viel zu lang war, nicht schlüssig erschien. Nachdem wir aber die oben geschilderten Erfahrungen gemacht haben, bleibt uns, so „unsympathisch" uns dieser Gedanke auch ist, fast nichts anderes übrig als der Schluß: Während im allgemeinen die Radiosensibilität der Zelle im Stadium der Mitose außerordentlich zunimmt und während unter allen Zellarten die Geschlechtszellen zu den strahlenempfindlichsten gehören, scheinen gerade die Teilungen der Geschlechtszellen relativ strahlenunempfindlich zu sein.

Von diesem Probleme grundsätzlich zu unterscheiden ist die Frage, wie die Bestrahlung auf die Mitosen der Geschlechtszellen einwirkt, die zur Zeit der Bestrahlung sich im Ruhestadium befinden. Hier kommt der „Sekundäreffekt" von Alberti und Politzer, d. h. nicht eine unmittelbare, sondern eine heredozelluläre Wirkung der Röntgenenergie in Frage. Solche heredozelluläre Wirkungen können, wie die heredozellulären Störungen überhaupt, letal oder nicht letal sein. Demgemäß beobachtet man im „Sekundäreffekt" entweder nekrotisierende oder bloß abnorme Mitosen; letztere verlaufen bis ans Ende und führen zur Bildung abnormer Produkte. Die nekrotisierenden Mitosen des Sekundäreffektes unterscheiden sich von denen des Primäreffektes unter anderem dadurch, daß sie erst einige Zeit nach der Bestrahlung auftreten.

Im Gegensatz zu unseren negativen Befunden bezüglich eines Primäreffektes an den Mitosen haben wir in dieser Hinsicht eher positive Beobachtungen machen können. Denn 3 Tage nach einer Bestrahlung mit 4 H.E.D. (Prot. Nr. 3 r.) und $2^1/_2$ bzw. 3 Tage nach einer Bestrahlung mit 30 H.E.D. (Prot. Nr. 18 r. bzw. 26 r.) haben wir außer normalen auch sichere abnorme sowie nekrotisierte Mitosen gesehen, also einen Sekundäreffekt, und zwar zum Teil einen letalen. Abb. 32 (Prot. Nr. 3 r.) zeigt typisch nekrotisierte und pathologische Mitosen. Die nekrotisierten Mitosen (Abb. 32b) sind im Gegensatz zu den nekrotisierten Mitosen in Abb. 31b heredozellulär geschädigte Mitosen, denn zur Zeit der Bestrahlung war die Zelle noch im Ruhestadium. Der einzige Unterschied zwischen den zwei Abbildungen ist also ein zeitlicher. Heredozelluläre pathologische Mitosen, die aber nicht letal geschädigt sind, finden sich in Abb. 32a. Sie entsprechen Bildern, wie sie Barrat und Arnold beobachtet haben. Die Produkte aus diesen abnormen Mitosen sind natürlich auch abnorm. Wir haben hierauf bei Besprechung der Anisozytose der Spermiden hingewiesen. Interessant ist auch in dieser

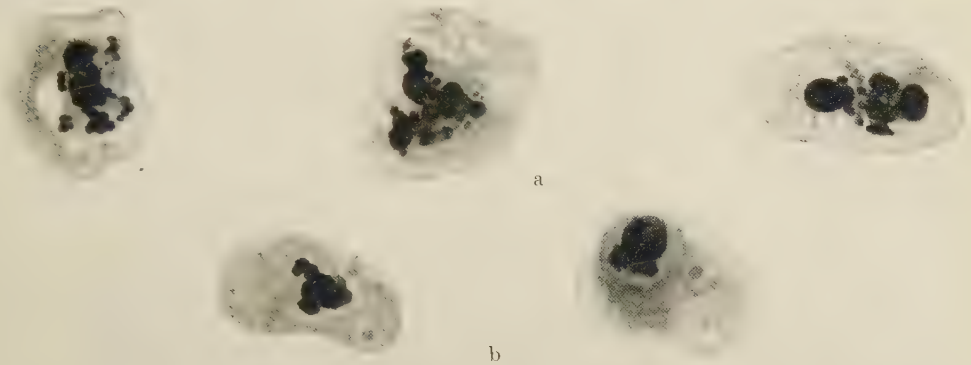


Abb. 32. Mitosenbilder des Sekundäreffektes. Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 15 ×, Ap. 90. a) Multipolare heredozellulär geschädigte Mitosen (Prot. Nr. 3, r.). 3 Tage nach Bestrahlung mit 4 H.E.D. Es handelt sich um abnorme Mitosen, deren Mutterzellen im Ruhestadium von Röntgenstrahlen getroffen worden waren. b) Heredozellulär letal geschädigte Mitosen $2^1/_2$ Tage nach Bestrahlung mit 30 H.E.D. (Prot. Nr. 18, r.). Diese nekrobiotischen Mitosen gehören im Gegensatz zu den nekrobiotischen Mitosen der Abb. 31b zum sog. Sekundäreffekt.

Beziehung der Fall, in dem wir 4 Stunden nach einer Applikation von 30 H.E.D. untersuchten (Prot. Nr. 18 l.). Hier finden wir lauter normale Reifeteilungen (vgl. Abb. 31c). Es fehlt also hier nicht nur der Primäreffekt, sondern auch der Sekundäreffekt insofern, als unter diesen Teilungen ja sicherlich doch auch solche sein dürften, die sich von während der Bestrahlung noch ruhenden Zellen herleiten. Die herodozelluläre bzw. letale heredozelluläre Schädigung der Mitosen braucht also selbst bei einer Dosis von 30 H.E.D. offenbar erst noch eine gewisse Latenzzeit, um in Erscheinung zu treten.

Eine vorübergehende Zunahme der Teilungen im Anschluß an die Bestrahlung, wie sie Schwarz (1924) angibt, oder umgekehrt eine „mitosenfreie Zwischenzeit" vor dem Sekundäreffekt im Sinne von Alberti und Politzer ist uns in unserem Objekte nicht aufgefallen. Was die Beschleunigung des Teilungsrhythmus anbetrifft, so verweisen wir darauf, was wir einerseits auf Seite 457 gesagt haben, wo wir betonten, daß man in unbestrahlten Testobjekten an einer Stelle plötzlich 17 Spermiogonienmitosen beieinander sehen kann — bei einem bestrahlten Objekt der Frühepoche würde man hier wohl ohne weiteres auf eine Reizwirkung schließen — und anderseits darauf, daß wir beim Studium des Verlaufes der Depopulation in gewissen Fällen tatsächlich eine Beschleunigung des Ablaufes

der Umwandlung der Spermiozyten in Präspermiden bzw. der Präspermiden in Spermiden usw. annehmen mußten (vgl. S. 468). Auch daraus darf aber natürlich auf eine direkte Reizwirkung nicht geschlossen werden; die Phänomene sind viel zu komplex und können ebenso leicht wie durch direkte Reizwirkung durch den Wegfall von Hemmungen erklärt werden. Wir sind nur berechtigt zu erklären, daß der Regulationsmechanismus innerhalb des Samenepithels gestört ist. Was die Frage der mitosenfreien Zwischenzeit anbetrifft, so möchten wir nochmals auf unsere Abb. 5 verweisen, auf der wir 90 Stunden nach der Bestrahlung eines menschlichen Hodens mit einer Dosis, welche

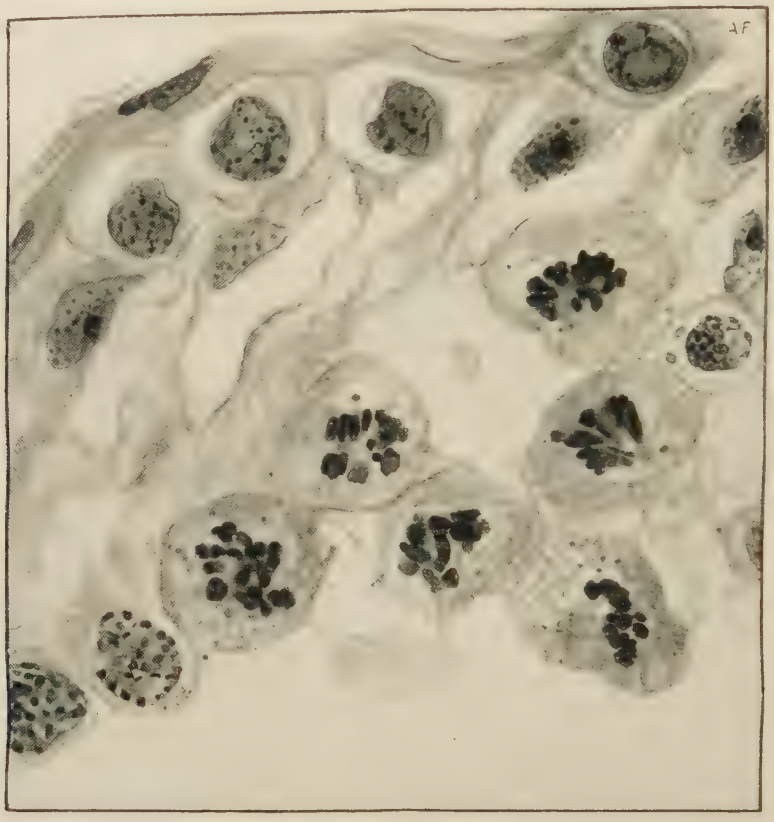


Abb. 33. Normale Reifeteilungen aus einem einmal mit 1 H.E.D. bestrahlten menschlichen Hoden, 12 Stunden nachher. Heidenhain Eisenhämatox., Zeiß, KO. 15 ×, Ap. 90. Man erkennt auf dem Bilde 3 Präspermiden, 6 Reifeteilungen, 5 Sertolikerne, 4 Spermiogonien und 2 Kerne der Membrana propria.

sicher zu einer zumindest temporären Sterilisation führt (100% der H.E.D.), Spermiogonienteilungen finden. Klassisch schöne Reifeteilungen finden sich bei derselben Dosis und am selben Objekte auch 12 Stunden nach Beendigung der Bestrahlung (vgl. Abb. 33).

Das Resultat ist: Die Teilungen der Geschlechtszellen scheinen wirklich in mehrfacher Hinsicht eine Sonderstellung einzunehmen. Nach unseren Beobachtungen ist die Empfindlichkeit der Reifeteilungsstadien nicht nur nicht größer, sondern sogar geringer als die der Spermiogonien. Immerhin halten wir die Frage noch nicht für erledigt und sind der Ansicht, daß sie an geeigneterem Materiale, als es der Säugetierhoden ist, noch weiter verfolgt werden muß.

VIII. Die Sertolizellen. Repopulation oder Regeneration?

Es versteht sich, daß die Forscher, die über die Röntgenatrophie des Hodens gearbeitet haben, auch die Frage besonders beschäftigt hat, von welchen Elementen eine allfällige Restitution ihren Ausgang nimmt. Die Antwort, die die verschiedenen Untersucher auf diese Frage gegeben haben, ist bisher immer dieselbe gewesen: Eine Restitution ist nur möglich, wenn einige Spermiogonien wenigstens der Vernichtung entgehen und wenn diese Spermiogonien im übrigen sich später wieder erholen, so daß sie sich von neuem zu teilen vermögen. Darüber sind sich alle bisherigen Untersucher: Bergonié und Tribondeau, Regaud und Mitarbeiter, Villemin, Simmonds und im Grunde auch Kyrle — der allerdings einen leisen Zweifel hat, ob die Restitution nicht von den Sertolizellen ausgehen könnte — einig. Auch uns blieb seinerzeit, in Ermangelung eigener Erfahrungen, nichts übrig, als uns dieser Anschauung anzuschließen (Schinz und Slotopolsky, 1924).

Regaud wies darauf hin, daß man angesichts dieser Verhältnisse nicht eigentlich von einer Regeneration des Samenepithels sprechen dürfe, sondern daß man den Vorgang korrekter als Repopulation zu bezeichnen habe, da es sich ja bei dem Vorgang nur um eine Wiederaufnahme der Tätigkeit von eine Zeitlang gelähmt gewesenen Spermiogonien handle. Sein Mitarbeiter Blanc aber meint, er wolle darauf nicht allzu großes Gewicht legen, da es sich dabei im Grunde nur um eine Wortfrage handle. Selbstverständlich handelt es sich nur um eine Wortfrage, wenn man sich über den zugrunde liegenden Vorgang einig ist. Ganz anders verhält sich die Sache aber, wenn man mit der Alternative: Repopulation oder Regeneration? die Frage meint, ob die Restitution des Samenepithels von den Sertolizellen oder von zurückgebliebenen Spermiogonien ausgeht. Dann liegt ein sachliches Problem vor. In diesem Sinne haben wir die Frage in der vorliegenden Arbeit gestellt.

Der Hoden ist eine holokrine Drüse, dessen Sekret die Spermien und dessen Matrix die Spermiogonien sind. Untergang, aber auch nur vorübergehender Funktionsstillstand der Matrix führt zur Aufhebung der „Sekretbildung". Sofern bei der Röntgenatrophie des Hodens die Matrix nur teilweise zugrunde gehen, zum Teil sich aber — zunächst gelähmt — erhalten und sofern dann dieser Überrest der Matrix seine Tätigkeit später wieder aufnehmen sollte, so würde es sich hierbei um einen Vorgang handeln, den man tatsächlich am besten mit dem Regaudschen Ausdruck Repopulation zu bezeichnen hat. Sofern aber die zu Beginn der Restitution neugebildeten Spermiogonien aus Sertolizellen entstehen sollten, so würde das bedeuten, daß die verlorengegangene Matrix aus andersartigen Elementen ganz neu gebildet wird. In diesem Falle wäre der Vorgang als echte Regeneration zu bezeichnen.

Über die Sertolizellen ist die allgemeine Meinung die, daß es sich um hochdifferenzierte, restlos an die Funktion der Ernährung der Samenzellen angepaßte und absolut teilungsunfähige Elemente handelt. Die Annahme einer Regeneration aus den Sertolizellen wäre nach Kyrle zumindest „sehr gewagt". Entsprechend dieser allgemeinen Meinung besteht ebenso allgemein die Ansicht, daß ein Hoden, in dessen Samenkanälchen sich nur noch Sertolizellen befinden, unweigerlich zu dauernder Sterilität verdammt ist. In dieser Auffassung müssen einen aber gewisse Befunde stutzig machen, die allerdings bisher merkwürdig wenig Interesse gefunden haben und kaum bekannt zu sein scheinen.

Es handelt sich hier in der Hauptsache um einen merkwürdigen Befund von Bouin (1897). Bouin beschreibt im Verlaufe der Hodenatrophie, die nach Unterbindung des

Ductus deferens eintritt, in gewissen Bezirken des Hodens eine eigentümliche Veränderung der Sertolizellen, die morphologisch das Bild einer Entdifferenzierung darbietet: Die vordem bizarr geformten, außerordentlich chromatinarmen und durch ein zentral gelegenes scharf hervortretendes Kernkörperchen ausgezeichneten Sertolizellen runden sich ab, werden dunkler, granuliert und entwickeln mehrere Kernkörperchen, die eine periphere Lage einnehmen. Sie sehen dann vollkommen so aus wie die Kerne der indifferenten Samenzellen des fötalen und infantilen Hodens (vgl. Abb. 34). Bouin bezeichnet den Vorgang als Entdifferenzierung bzw. als Anaplasie im Sinne von Hansemanns. Er äußert sich aber nicht darüber, ob er mit diesem Begriff nur den morphologischen Vorgang charakterisieren oder ob er ihm auch einen physiologischen Sinn beilegen will. Von einer Regeneration des Samenepithels von diesen entdifferenzierten Sertolizellen aus berichtet Bouin nichts.

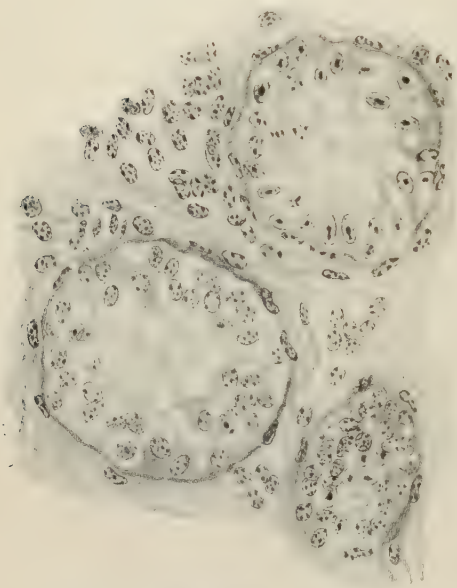


Abb. 34. Regressive Metamorphose (Entdifferenzierung) der Sertolizellen in einem durch Vasoligatur atrophisch gewordenen Hoden (nach Bouin). Die mit zentralen Nukleolen versehenen blassen Kerne der Sertolizellen wandeln sich dadurch, daß sie etwas dunkler werden und vor allem dadurch, daß sich in ihnen mehrere peripher gelegene Kernkörperchen entwickeln, zu Kernen um, die denen der indifferenten Samenzellen des infantilen Hodens vollkommen gleichen.

Seit Bouin ist nun diese Frage nicht weiter verfolgt worden. In unseren Beiträgen zur experimentellen Pathologie des Hodens (Schinz und Slotopolsky, 1924) haben wir die Frage wieder aufgenommen; wir haben den von Bouin geschilderten Vorgang, dem auch wir bei Hodenatrophien in ähnlicher Weise mitunter begegneten, als regressive Metamorphose bezeichnet. Wir wollten mit diesem Terminus im Sinne Ribberts zum Ausdruck bringen, daß es sich hierbei um einen Rückschlag in rein morphologischem Sinne handelt. Physiologisch wollten und konnten wir mit dem Worte nichts präjudizieren, weil in den von uns studierten Fällen von Hodenatrophie eine Restitution — bei dauernd schädigendem Agens — überhaupt nie stattgefunden hatte und somit eine Prüfung der Frage, ob eine solche von den regressiv metamorphosierten Sertolizellen ausgehen könne, überhaupt nicht in Betracht kam.

Um so größere Bedenken hatten wir gegen die Auffassung von Stieve (1921—23) und Romeis (1921), die sogar morphologisch nicht entdifferenzierte Sertolizellen in atrophischen Hoden grundsätzlich als indifferente Zellen bezeichnen und dieser Bezeichnung einen höchst realen Sinn geben, indem sie offenbar auf dem Standpunkte stehen, daß bei allfälliger Restitution das Samenepithel von diesen Sertolizellen aus regeneriert wird. Wir fanden damals, daß erstens einmal rein morphologisch die Bezeichnung dieser unveränderten Sertolizellen als indifferente Zellen nicht gerechtfertigt und ferner, daß die regeneratorischen Potenzen, die Stieve und Romeis ihnen zuschreiben, nicht bewiesen seien. Immerhin hielten wir schon damals die originelle Ansicht von Stieve und Romeis, mit der diese übrigens vollkommen allein stehen, für sehr interessant und weiterer Verfolgung dringend bedürftig.

Seither gemachte Beobachtungen am Röntgenhoden und an anderen atrophischen Testikeln haben uns geholfen, unsere Anschauungen in dieser Hinsicht zu klären, und wir können uns heute, um das gleich vorwegzunehmen, im Prinzip durchaus der Ansicht von Stieve und Romeis anschließen.

Allerdings können wir es nicht vorbehaltlos tun, und namentlich bezüglich der rein morphologischen Bewertung der verschiedenen in Betracht kommenden Bilder stehen wir auch heute auf einem anderen Standpunkte als Stieve. Wir meinen nämlich, daß, unbeschadet der regeneratorischen Potenzen der Sertolizellen, kein Anlaß vorliegt, typische Sertolizellen in atrophischen Hoden als indifferente Zellen oder gar als Spermiogonien zu bezeichnen, wie Stieve das tut. Wenn die Sertolizellen potentiell indifferente Zellen sind, so sind sie es auch im normalen Hoden, und ebensowenig, wie man sie hier als indifferente Zellen oder gar als Spermiogonien bezeichnen wird, darf man das unseres Erachtens in atrophischen Hoden tun. Den Wandbelag der Samenkanälchen eines Mäusehodens mit Alkoholatrophie beschreibt Stieve folgendermaßen: „Bei den meisten ist die Wandung nur von einer einzigen Zellschicht ausgekleidet, sie wird von indifferenten kleinen Spermiogonien gebildet, deren bläschenförmig heller Kern ein bis höchstens drei Nukleolen besitzt und die verschiedensten Formen aufweist. Bald erscheint er rund, bald oval oder dreieckig, dann wieder zipfelförmig ausgezogen. Trotz dieser äußeren Verschiedenheiten ist die Größe dieser Kerne ziemlich gleich. Der Plasmaleib ist schmal, die Zellgrenzen sind undeutlich, irgendwelche Gebilde, die man als Sertolizellen ansprechen könnte, sind nicht zu erkennen. Spermatogonienteilungen fehlen." Wir für uns erkennen in dieser Beschreibung einen Wandbelag aus typischen, „idealen" Sertolizellen, die alle charakteristischen Merkmale dieser Zellart aufweisen: ein bläschenförmiger, heller Kern mit ein bis drei Nukleolen — einer dieser Nukleolen pflegt im Gegensatz zu den anderen oxyphil zu sein — von wechselvoller, bizarrer Form! Das ist das typische Charakteristikum der Sertolizellen, mögen sie sich im übrigen in einem voll tätigen oder in einem atrophischen Hoden befinden. Daß die Sertolizellen hier der Aufgabe, die sie unter normalen Verhältnissen haben, nämlich „die reifenden Spermatozoen zu ernähren", nicht mehr genügen können, daß sie durch den Untergang des Samenepithels teilweise funktionslos geworden sind — wir sagen teilweise, weil wir an die Bedeutung der in atrophischen Hoden verbliebenen Sertolizellen für die Inkretion und für eine allfällige Regeneration denken —, kann doch kein Grund sein, sie nun nicht mehr als Sertolizellen, sondern plötzlich als Spermiogonien zu bezeichnen. Wir können diesbezüglich nur wiederholen, was wir seinerzeit schon in dieser Frage gesagt haben (Schinz und Slotopolsky, 1924): „Zunächst erscheint es uns nicht richtig, daß wir, wie Stieve meint, nur solche Gebilde in den Tubulis als Sertolizellen bezeichnen dürfen, welche die Aufgabe haben, die reifenden Spermatozoen zu ernähren. Wir dürfen mit diesem Namen auch sicher diejenigen Elemente belegen, die diese Aufgabe hatten und welche eben nach dem Zugrundegehen der übrigen Elemente allein so gut wie unverändert in den Kanälchen zurückgeblieben sind. Jeder, der die Histogenese der Hodenatrophie studiert, kann sich überzeugen, daß es die wirklichen, echten Sertolizellen sind, die in den Tubuli schließlich als solche zurückbleiben und dann allein jenen charakteristischen Wandbelag hochgradig atrophischer Tubuli bilden." An einer anderen Stelle sagt Stieve von einem Wandbelag aus Sertolizellen: „Sie (d. h. die Zellage des Wandbelages) wird von kleinen indifferenten Ursamenzellen gebildet, deren dicht gelagerte Kerne allenthalben gleichen Bau zeigen. Sie sind bläschenförmig mit deutlicher Membran, in der Mitte ein ziemlich großer Nukleolus. Der Kernsaft erscheint hell, von einem äußerst feinen Gerüst durchsetzt. Sehr verschieden ist die Form der einzelnen Kerne, bald oval, bald unregelmäßig, bald drei- oder viereckig oder auch zipfelförmig ausgezogen. Irgend-

welche Gebilde, die man als Sertolizellen bezeichnen und den übrigen Kernen der Wandbekleidung gegenüberstellen könnte, lassen sich nicht auffinden." Wir fassen das so auf: es sind eben lauter Sertolizellen da.

Vollständig anders sieht demgegenüber ein Wandbelag aus, wie er uns in den obengenannten Beschreibungen Bouins entgegentritt, wie wir ihn selbst seinerzeit beschrieben haben, und wie er z. B. in den auf Tafel 11 in Steinachs Verjüngung abgebildeten Samenkanälchen zu sehen ist. Hier finden wir wesentlich kleinere dunkle, gleichmäßig granulierte, gleichmäßig rund oder oval geformte Kerne, die — morphologisch — nichts mit den Sertolizellen des geschlechtsreifen, aber sehr viel mit den indifferenten Samenzellen des infantilen Hodens gemein haben.

Diese beiden, dem morphologischen Bilde nach durchaus verschiedenen Arten des Wandbelages atrophischer Samenkanälchen haben wir seinerzeit (Schinz und Slotopolsky, 1924) scharf auseinandergehalten und demgemäß sogar zwei morphologische Typen der Hodenatrophie als Hodenatrophie im engeren Sinne — wenn der Wandbelag aus Sertolizellen gebildet ist — und als regressive Metamorphose des Hodens — bei einem Wandbelag aus indifferenten Zellen — unterschieden.

Unsere seitherigen Studien, insbesondere am Röntgenhoden, haben uns indessen gezeigt, daß diese Trennung in dieser Schärfe nicht durchzuführen ist und daß zwischen den zwei genannten Typen verschiedene Übergänge bestehen. Indem wir oben zwei Beschreibungen Stieves, die unserer Ansicht nach von typischen Sertolizellen handeln, andere Bilder gegenüberstellten, die typische indifferente Zellen darstellen, haben wir die extremen Fälle herausgegriffen, in denen uns jedenfalls — immer vom rein morphologischen Standpunkt aus! — die Entscheidung nicht schwer wird. Aber es gibt auch noch andere Bilder. Z. B. kann man den Wandbelag atrophischer Samenkanälchen bei Atrophie vierten Grades mitunter von Kernen gebildet finden, die durch ihre Chromatinarmut und durch die typischen zentral gestellten ein bis drei Kernkörperchen, von denen eines oxyphil ist, unverkennbar als Kerne von Sertolizellen imponieren. Aber die Form dieser Kerne ist merkwürdig regelmäßig. Sie sind rundlich bis oval, nicht viel anders geformt als die Kerne von Spermiogonien. Immerhin müßte selbst in einem solchen Wandbelag das gelegentliche Vorkommen von (amitotischen?) Einschnitten, wie sie für die Sertolikerne so ungemein charakteristisch sind, auch jemand, der die typischen Nukleolenverhältnisse übersieht, über die Natur dieser Kerne aufklären. Aber der typische Wandbelag unserer „Atrophie im engeren Sinne" liegt hier nicht mehr vor. Einen solchen Wandbelag beobachteten wir bei unserem Röntgenhodenmaterial z. B. in einem vollkommen atrophischen Testikel 37 Tage nach einer Bestrahlung mit 4 H.E.D. (s. Prot. Nr. 3, l.). Anderseits begegnet man dann wieder Fällen, in denen der Wandbelag hochgradig atrophischer Samenkanälchen sich offenbar aus Spermiogonien und Sertolizellen zusammensetzt. Aber es ist hier nicht möglich, die Sertolizellen von den Spermiogonien immer scharf zu unterscheiden. Die Kerne der Spermiogonien sind hier viel heller, als wir es sonst von ihnen gewohnt sind, und die Kerne der Sertolizellen sind hier anderseits öfters rundlich, wie die von Spermiogonien. Wir mußten in solchen Fällen schon das azidophile Kernkörperchen zur Differentialdiagnose zu Hilfe nehmen (z. B. Prot. Nr. 2, l; 30 Tage nach Bestrahlung mit 2 H.E.D., vgl. Abb. 35, und Prot. Nr. 10, r; 30 Tage nach Bestrahlung mit 3 H.E.D., vgl. Abb. 36).

Dies waren die Bilder, die in unseren Röntgenhoden an eine regressive Metamorphose, wie wir sie seinerzeit beschrieben haben, denken ließen. Aber es bestand doch ein Unterschied gegenüber dem damals Beobachteten und namentlich auch gegenüber dem von Bouin Beschriebenen: Das Bild der indifferenten Samenzellen des infantilen Hodens haben wir in unseren Röntgenhoden nie gefunden. Die Entdifferenzierung der Sertoli-

zellen bzw. der regressiven Metamorphose trat uns hier in einer Form entgegen, die lediglich durch eine Verwischung des Unterschiedes zwischen Sertolizellen und Spermiogonien charakterisiert wird. Soweit das deskriptiv Morphologische.

Physiologisch bzw. morphogenetisch war nun die Frage vor allem die: Bedeutet diese Verwischung des Unterschiedes zwischen Sertolizellen und Spermiogonien, daß sich hier Sertolizellen in Spermiogonien umgewandelt haben? Und ferner: Knüpfen sich an diesen Vorgang Zellteilungsvorgänge, die die Restitution vervollständigen? Schließlich — kann man womöglich zu Beginn der Restitution auch in den Sertolikernen, die noch deutlich als solche zu erkennen sind, Mitosen antreffen? Die letzte Frage können wir nach unseren Beobachtungen am Röntgenhoden selbst nicht sicher bejahen. Aber

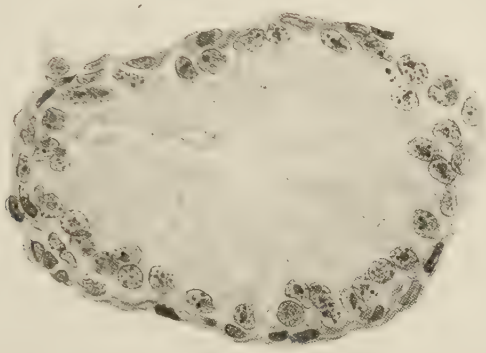


Abb. 35. Aus einem einmal mit 2 H.E.D. bestrahlten Kaninchenhoden (Prot. Nr. 2, l.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Regressive Metamorphose (Entdifferenzierung) der Sertolizellen. Die typischen Sertolizellen sind an der länglichen Gestalt ihrer Kerne und den eigentümlichen, in der Mitte des blassen Kernes gelegenen Nukleolen zu erkennen, von denen einer immer oxyphil ist. In den entdifferenzierten Sertolizellen hat sich der Kern abgerundet, ist aber immer noch sehr blaß und bisweilen sind noch die typischen Kernkörperchen, insbesondere das azidophile sichtbar. In dem sich anscheinend das Chromatin der Nukleolen über den ganzen Kern verteilt, jedenfalls der ganze Kern gleichmäßig dunkel wird, wandeln sich die Sertolizellen dann vollends in Spermiogonien um. Im Verlaufe dieser Umwandlung wird ein Stadium durchlaufen, auf welchem dem einzelnen Kern nicht angesehen werden kann, ob er noch ein Sertoli- oder schon ein Spermiogonienkern ist. Eine solche Gruppe „indifferenter Zellen" ist links unten in der Abbildung dargestellt. Diese indifferenten Zellen entsprechen aber im morphologischen Bilde nicht den indifferenten Samenzellen des infantilen Hodens, das sonst bei Hodenatrophie gelegentlich beobachtet wird (vgl. Abb. 34).

in einem hochgradig atrophischen Hoden einer alten Ratte, den wir in anderem Zusammenhange untersuchten (s. darüber Slotopolsky und Schinz, 1925) fanden wir in den Samenkanälchen einen ähnlich aussehenden Wandbelag, wie wir ihn soeben als regressive Metamorphose im Röntgenhoden beschrieben haben, und hier bekamen wir nicht nur Übergänge von Sertolizellen zu Spermiogonien, sondern auch zahlreiche Mitosen in noch unverkennbar als Sertolizellen imponierenden Elementen zu sehen, ein Bild, wie wir es — in der herrschenden Anschauung über die Teilungsunfähigkeit und regeneratorische Wertlosigkeit der Sertolizellen befangen — für kaum möglich gehalten hätten (vgl. Abb. 37 u. 38). Angesichts dieser Beobachtung gewinnt auch die Angabe von Stieve, der in einer seiner Arbeiten (1923) eine Regeneration des alkoholatrophischen Hodens von Elementen aus beschreibt, die nach der beigegebenen Abbildung als typische Sertolizellen betrachtet werden müssen, für uns besondere Bedeutung. Die beiden erst gestellten Fragen aber können wir auch auf Grund unserer Beobachtungen am Röntgenhoden be-

jahend beantworten. Die beschriebenen Bilder lassen wohl keine andere Deutung zu, als daß es sich hier um eine teilweise Umwandlung der Sertolizellen in Spermiogonien handelt. Gleichzeitig vorhandene zahlreiche Mitosen (vgl. Abb. 36) lassen den Weg erkennen, auf dem die Restitution dann weiter schreitet, nur daß es uns nicht möglich ist zu entscheiden, ob es sich dabei um Mitosen von Sertolizellen oder von — durch Umbildung solcher — neu entstandenen Spermiogonien handelt. Es liegt hier ein Bild vor, wie es Romeis (1921) bereits seinerzeit am vasoligierten Rattenhoden beschrieben hat.

Zusammenfassend können wir sagen: Es existieren heute eine Reihe von Beobachtungen über Umwandlungen von Sertolizellen in Spermiogonien sowohl als auch über mitotische Teilungen noch unveränderter Sertolizellen in atrophischen Hoden und über eine durch diesen Vorgang ausgelöste Regeneration.

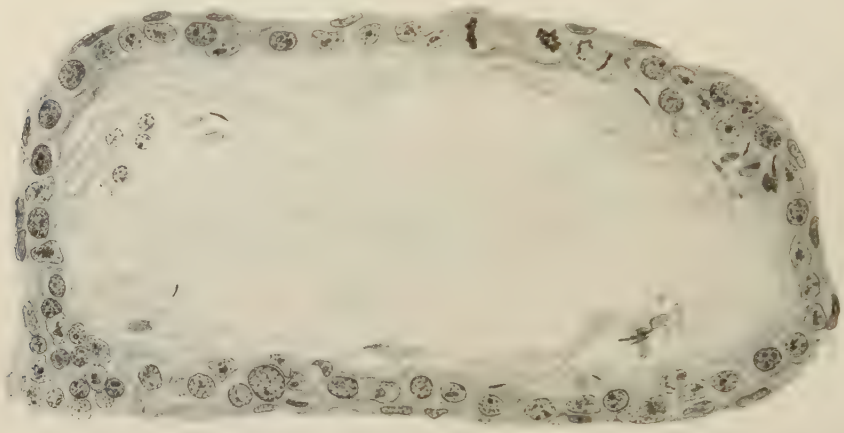


Abb. 36. Aus einem mit 3 H.E.D. einmal bestrahlten Kaninchenhoden, 34 Tage nach Applikation (Prot. Nr. 10, r.). Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 5 ×, Ap. 90. Regressive Metamorphose (Entdifferenzierung) der Sertolizellen und erster Beginn der Regeneration eines Röntgenhodens. (Vgl. Abb. 35.) Auch hier Übergänge von Sertolizellen zu Spermiogonien. Die Kerne der neugebildeten Spermiogonien sind blaß. Den im Bilde vorhandenen Mitosen ist nicht anzusehen, ob sie zu Sertolizellen oder bereits zu Spermiogonien gehören.

Damit erscheint der Restitutionsvorgang im Röntgenhoden in einem ganz anderen Lichte als bisher. An sich schon ist ja die Vorstellung nicht sehr plausibel, daß von den an Zahl so geringen und im übrigen ja sicherlich so schwer geschädigten Spermiogonien, die in einem röntgenatrophischen Hoden hier und da einmal im Wandbelag der Samenkanälchen noch zu finden sind, die vollständige Restitutio ad integrum ausgehen sollte. Kyrle fand sogar in röntgenatrophischen Testikeln schließlich überhaupt keine einzige Spermiogonie mehr und er ist daher auch in großer Verlegenheit, wie er die Restitution erklären soll. Aber selbst — und darauf legen wir besonderes Gewicht — wenn sich auch in einem röntgenatrophischen Hoden, der später wieder restituiert wird, hier und da noch ganz vereinzelt Spermiogonien finden, so ist es a priori eigentlich nicht das Wahrscheinlichste, sondern eher das Unwahrscheinlichste, daß von diesen die Restitution ausgehen soll. Nur das Dogma von der Teilungsunfähigkeit der Sertolizellen hat zu dieser an sich so wenig plausibeln Erklärungsweise Anlaß gegeben.

Wir glauben aber, daß die oben mitgeteilten Beobachtungen nun doch beweisen, daß man sich hier einem Irrtum hingegeben hat, und wir stehen heute vor der hoch-

interessanten Tatsache, daß die Sertolizellen trotz ihrer hohen Differenziertheit sich offenbar die Potenzen der indifferenten Samenzellen, von denen sie stammen, zeitlebens bewahren und daß diese scheinbar lediglich zu Dienstleistungen für das Samenepithel bestimmten und zu sonst nichts brauchbaren Elemente noch ganz andere Potenzen in

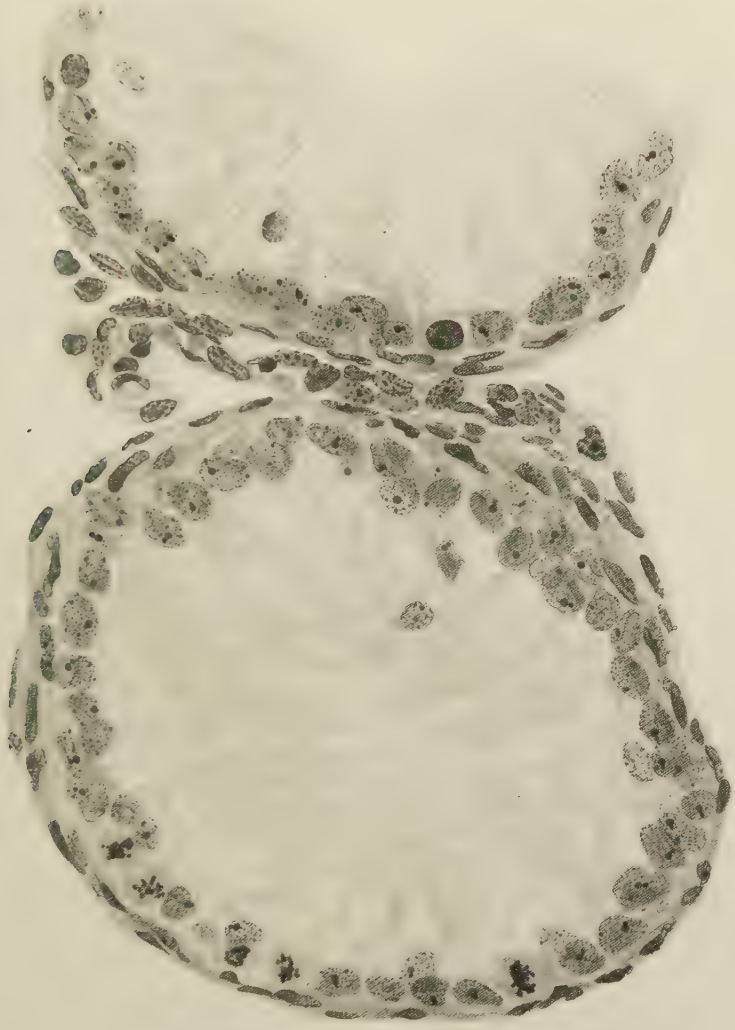


Abb. 37. Aus einem hochgradig altersatrophischen und dann vasoligierten Rattenhoden. Haematox. Eosin, Zeiß, KO. 15 ×, Ap. 90. Entdifferenzierung und Teilung der Sertolizellen. Die an der bizarren, vielfach gekerbten Form ihrer Kerne und an den typischen Nukleolenverhältnissen als solche erkennbaren Kerne der Sertolizellen sind auffallend dunkel und granuliert. Sie geben sich dadurch als Sertolizellen in Entdifferenzierung zu erkennen. Auf diesem Stadium, noch ehe sie sich in typische Spermiogonien umgewandelt haben, vermögen sie bereits auch in Teilung zu treten: Mitosen in dem unteren Kanälchen, das ausschließlich Sertolizellen in Entdifferenzierung, aber keine einzige Spermiogonie enthält. Das obere Kanälchen zeigt außerdem auch zwei (neugebildete?) Spermiogonien. Man beachte in beiden Kanälchen die dichte Gedrängtheit der entdifferenzierten Sertolizellen, ein indirekter Beweis dafür, daß hier Vermehrungsvorgänge sich abspielen.

sich tragen, daß sie potentiell indifferente Elemente sind und daß sie in der Tat die Fähigkeit haben, bei einer Hodenatrophie das ganze Samenepithel zu regenerieren. Wenn Stieve daher von der Hodenatrophie vierten Grades sagt: „Man ist daher nicht berechtigt zu behaupten, daß in solchen Fällen der generative Anteil des Hodens völlig zerstört ist; es hat eben nur eine Rückbildung bis auf jene großkernigen Elemente stattgefunden, aus denen sich sowohl echte, leistungsfähige Spermiogonien als auch Sertolische Zellen entwickeln können", so muß man ihm gewiß zustimmen. Nur daß man hinzufügen muß, daß jene großkernigen Elemente im normalen Organ die Sertolizellen darstellten.

Angesichts dieser Sachlage könnte einen die so auffallende Widerstandsfähigkeit der Sertolizellen und ihre hartnäckige Persistenz selbst in hohen Graden der Hodenatrophie leicht zu teleologischen Gedankengängen veranlassen. Es ist in der Tat sehr „zweckmäßig", daß die Sertolizellen so widerstandsfähig sind. Auch in Hinblick auf

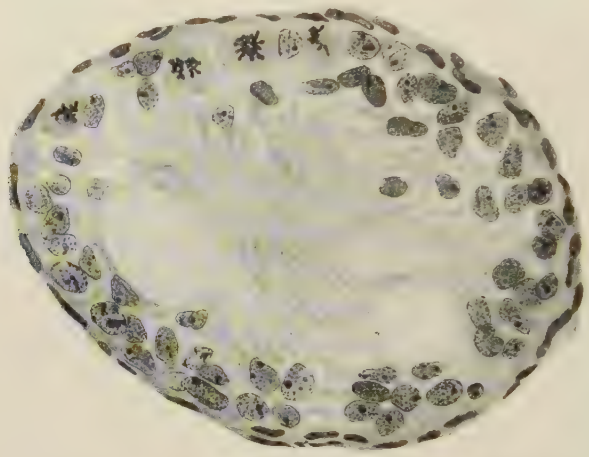


Abb. 38. Aus einem hochgradig altersatrophischen und dann vasoligierten Rattenhoden. Haematox. Eosin, Zeiß, OK. 5 ×, Ap. 90. Entdifferenzierung und Vermehrung der Sertolizellen. Kerne der Sertolizellen vielfach dunkel und granuliert. Zahlreiche Übergänge zu Spermiogonien. Vereinzelt das Bild der indifferenten Samenzellen des infantilen Hodens. Typische Spermiogonien noch nicht ausgebildet. Zahlreiche Mitosen der dicht gedrängten, sich entdifferenzierenden Sertolizellen.

die Frage nach dem Substrate der Hodeninkretion sind die gewonnenen Erkenntnisse von Bedeutung. In den „isolierten Pubertätsdrüsen" sind, wie bekannt, zumindest immer noch Sertolizellen vorhanden. Elementen, die die Fähigkeit haben, das ganze Samenepithel wieder zu regenerieren, wird man aber auch die Fähigkeit nicht absprechen wollen, die innersekretorischen Funktionen des Samenepithels zu besorgen, sei es, daß sie von vornherein schon an ihnen beteiligt sind, sei es, daß sie sie erst bei Eintreten der Hodenatrophie übernehmen.

Die Vorgänge bei der Verödung und bei einer allfälligen Restitution des Hodens nach Röntgenbestrahlung haben wir uns nunmehr folgendermaßen vorzustellen: Zuerst erfolgt eine Degeneration der Spermiogonien. Daran schließt sich eine Depopulation der Samenkanälchen, weil die vorhandenen Spermiden und Spermiozyten sich allmählich in Spermien umwandeln und keine Matrix mehr da ist, die einen Nachschub liefern könnte. Wenn nun die Sertolizellen durch die Bestrahlung nicht allzusehr geschädigt, d. h. ihrer regeneratorischen Potenzen nicht beraubt wurden, so erfolgt nunmehr eine Regeneration der Spermiogonien von den Sertolizellen aus, und daran

schließt sich, nachdem die Matrix auf diese Weise wiederhergestellt ist, die Repopulation des Testikels, d. h. die Wiederfüllung der Samenkanälchen mit allen Stadien der Spermiogenese. Sind dagegen die Sertolizellen durch eine starke Bestrahlung ebenfalls erheblich geschädigt worden, so verlieren sie ihre regeneratorischen Potenzen, und es hat bei der Degeneration und Depopulation sein Bewenden. Eine Restitution findet nicht mehr statt.

IX. Zusammenfassung.

1. Die Röntgenhypobiose des Hodens nimmt unter den Hodenhypobiosen eine Sonderstellung ein. Diese beruht aber nicht auf einer qualitativ spezifischen Wirkungsweise der Röntgenstrahlen, sondern auf „quantitativen" Besonderheiten, die sie vor anderen Reizen auszeichnen.

2. Es sind dies Tiefenwirkung und feine Dosierbarkeit. Die Röntgenstrahlen wirken unmittelbar auf das Hodenparenchym ein und treffen alle Elemente desselben gleichzeitig und mit gleicher Stärke. Ihre feine Dosierbarkeit ermöglicht es anderseits, Reizstärken zu applizieren, die nur die empfindlichsten Elemente des Parenchyms schädigen, die weniger empfindlichen aber so gut wie unberührt lassen. Es ist eben dadurch möglich, mit den Röntgenstrahlen elektiv zu wirken.

3. Demgemäß entspricht der Verlauf der Röntgenatrophie des Hodens der wahren Empfindlichkeit der verschiedenen Elemente des Hodenparenchyms. Röntgensensibilität und allgemeine Sensibilität einer Zelle stehen zwar nicht im Widerspruch miteinander, aber bei anderen Formen der Hodenatrophie, insbesondere bei solchen, die mit Ernährungsstörungen im Zusammenhange stehen, kommt die wahre Empfindlichkeit der verschiedenen Zellkategorien nicht zum Vorschein. Wenigstens soweit das Samenepithel in Betracht kommt, dessen an sich empfindlichsten Elemente, die Spermiogonien, hier durch ihre periphere Lage in der Nähe der Gefäße eine Vorzugsstellung einnehmen, die den Ablauf der Erscheinungen „verfälscht".

4. Ganz anders bei der Röntgenatrophie des Hodens. Hier zeigen sich bei Applikation einer Dosis, die die übrigen Kategorien des Samenepithels vollkommen intakt läßt, die Spermiogonien allein geschädigt, und wenn, bei Anwendung größerer Dosen, auch die übrigen Kategorien des Samenepithels von der Nekrobiose ergriffen werden, so entspricht doch die Reihenfolge der Degeneration vollkommen der verschiedenen Empfindlichkeit der verschiedenen Elemente: zuerst degenerieren die Spermiogonien, später die Spermiozyten, dann erst die Spermiden, während bei Hodenatrophien infolge von Ernährungsstörungen der Ablauf der Erscheinungen gerade umgekehrt ist.

5. Die feine Dosierbarkeit der Röntgenwirkung erlaubt es, eine vorübergehende vollständige Leerung der Samenkanälchen lediglich dadurch zu erzeugen, daß die Spermiogonien bloß für eine Zeitlang ihrer Teilungsfähigkeit beraubt werden. Das Bild, das sich zirka zwei Wochen später im Hoden einstellt, ist eine ausgezeichnete Illustration sowohl für die maximale Empfindlichkeit der Spermiogonien wie für die elektive Wirksamkeit der Röntgenstrahlen wie für das dynamische Gleichgewicht, das im Hoden herrscht.

6. Entsprechend der feinen Dosierbarkeit der Röntgenstrahlen läßt sich eine ganze Skala der Röntgenwirkungen am Hoden aufstellen, wobei sich eine direkte Proportionalität von Dosis und Effekt ergibt: Die schwächste Dosis, die noch im Sinne einer Hypobiose wirksam ist, lähmt vorübergehend die Spermiogonien. Eine etwas stärkere Dosis lähmt einen Teil der Spermiogonien, tötet die übrigen. Eine noch stärkere Dosis

tötet fast sämtliche Spermiogonien und beraubt damit das Samenepithel seiner Matrix. Die genannten Dosen fassen wir als schwache und mittlere Dosen zusammen. Sie genügen, um, wenigstens vorübergehend, vollständige Atrophie des Hodens, d. h. Reduktion des Wandbelages der Samenkanälchen bis auf die Sertolizellen zu erzeugen. Dosen, die darüber hinausgehen, rufen nekrobiotische Erscheinungen auch an den Spermiozyten und Spermiden hervor. Die Leerung der Samenkanälchen erfolgt dabei wesentlich rascher. Wir fassen die betreffenden Dosen als starke Dosen zusammen. Aber auch diese starken Dosen führen nur zur Atrophie. Im Gegensatz dazu kann durch Applikation allerstärkster Dosen in wenigen Tagen eine vollkommene Nekrose des Hodens erzeugt werden.

7. Den Verlauf der Röntgenatrophie des Hodens nach Applikation kleiner und mäßiger Dosen, wie sie allein auch für die Anwendung in der ärztlichen Praxis in Betracht kommen, bezeichnen wir als typischen. Im Gegensatz dazu nennen wir den Ablauf der Erscheinungen nach Applikation großer und größter Dosen atypisch. Bei typischem Verlaufe unterscheidet sich die Röntgenatrophie des Hodens von den übrigens Hodenatrophien dadurch, daß ein nennenswerter nekrobiotischer Zerfall von Samenepithel bei ihr nicht stattfindet. Bei atypischem Verlaufe der Röntgenatrophie des Hodens kommt es zwar auch zu einem massenhaften nekrobiotischen Zerfall von Samenepithel, aber durch die andere Reihenfolge der einzelnen Phasen dieses Prozesses unterscheidet sich die Röntgenatrophie des Hodens auch hier von den übrigen Formen der Hodenatrophie.

8. Die strenge Proportionalität zwischen Dosis und Effekt äußert sich bei der Röntgenatrophie des Hodens auch darin, daß man eine Abhängigkeit der Latenzzeit von der Dosis konstatieren kann. Das betrifft einmal die klinische, „makroskopische" Latenzzeit. Es kommt schneller zur Leerung der Kanälchen und damit zur Azoospermie, wenn größere Dosen appliziert werden. Interessanter aber ist der Zusammenhang zwischen Dosis und „mikroskopischer" Latenzzeit: Während nach Applikation mäßiger Dosen die Spermiogonien erst nach 2—3 Tagen der Nekrobiose verfallen, tun sie es nach Bestrahlung mit großen Dosen bereits nach einigen Stunden.

9. Es hat den Anschein, als ob die Spermiogonien noch empfindlicher sind als die Reifeteilungsstadien der Samenzellen. Einen direkten Untergang unter der Einwirkung der Bestrahlung, einen sog. „Primäreffekt", konnten wir an diesen nicht konstatieren. Selbst mit starken Dosen gelingt es offenbar nicht, die von der Bestrahlung in Karyokinese betroffenen Samenzellen abzutöten. Es ergibt sich daraus die merkwürdige Situation, daß im allgemeinen zwar im Stadium der Mitose eine außerordentliche Sensibilitätssteigerung der Zellen eintritt, daß aber gerade die Mitosen der im übrigen so hoch empfindlichen Samenzellen relativ strahlenunempfindlich zu sein scheinen.

10. Im Gegensatz dazu konnten wir aber an den Reifeteilungen mitunter wohl einen „Sekundäreffekt" beobachten: Von der Bestrahlung im Ruhezustand getroffene Spermiozyten, die durch die Bestrahlung zunächst nur latent geschädigt werden (heredozelluläre Schädigung), zeigen diese Schädigung unter Umständen, wenn sie in Teilung treten, sie können dann evtl. sogar absterben (letale heredozelluläre Schädigung). Demgemäß besteht der Sekundäreffekt zum Teil aus abnormen, zum Teil aus nekrotisierenden Mitosen. Eine heredozelluläre Schädigung der Spermiozyten, evtl. Präspermiden oder evtl. auch der Reifeteilungsstadien erblicken wir ferner in den auffallenden Größenschwankungen der in der Periode der Leerung der Samenkanälchen gebildeten Spermiden (Anisozytose der Spermiden).

11. Die Vorgänge, die sich nach einer mäßigen Bestrahlung im Testikel abspielen, sind die folgenden: Zuerst erfolgt eine Degeneration der Spermiogonien. Daran schließt

sich eine Depopulation der Samenkanälchen, weil die vorhandenen Spermiden und Spermiozyten sich allmählich in Spermien umwandeln und keine Matrix mehr da ist, die einen Nachschub liefern könnte. Wenn nun die Sertolizellen durch die Bestrahlung nicht allzusehr geschädigt, d. h. ihrer regeneratorischen Potenzen nicht beraubt wurden, so erfolgt nunmehr eine Regeneration der Spermiogonien von den Sertolizellen aus, und daran schließt sich, nachdem die Matrix auf diese Weise wiederhergestellt ist, die Repopulation des Testikels, d. h. die Wiederfüllung der Samenkanälchen mit allen Stadien der Spermiogenese. Sind dagegen die Sertolizellen durch eine starke Bestrahlung ebenfalls erheblich geschädigt worden, so verlieren sie ihre regeneratorischen Potenzen, und es hat bei der Degeneration und Depopulation sein Bewenden. Eine Restitution findet dann nicht statt.

12. Für eine allfällige Restitution des Hodens nach Röntgenbestrahlung bedarf es demgemäß nicht der Persistenz vereinzelter Spermiogonien. Die Restitution kann von den Sertolizellen ausgehen. Diese sind potentiell indifferente Elemente und stellen im volltätigen, geschlechtsreifen Hoden eine Art von Reservematerial dar, das berufen ist, bei allfälliger Zerstörung des Samenepithels dieses eventuell neu zu bilden. Da bei dauernder Zerstörung des Samenepithels die Sertolizellen auch jedenfalls ganz allein die Hodeninkrete zu bilden vermögen, so gewinnen sie damit eine außerordentliche Bedeutung. Sie sind demnach nicht nur Nährzellen des Samenepithels, sondern auch endokrine Drüsenzellen und Reservezellen zugleich.

13. Ein röntgenatrophischer Hoden ist demnach keine „isolierte Pubertätsdrüse". Aber auch die starke Wucherung der Zwischenzellen im Röntgenhoden, an die von so vielen geglaubt wird, ist zum größten Teile nur relativ, durch die Schrumpfung der Kanälchen vorgetäuscht. Die absolute Zunahme, die das Zwischengewebe bei der Röntgenatrophie des Hodens erfährt, ist demgegenüber nicht sehr bedeutend. Zu erklären ist sie im übrigen als eine „raumfüllende" Hypertrophie e vacuo, bzw. durch einen nach dem Untergang des Samenepithels bestehenden Überschuß von zum Hoden zugeführtem Nährmaterial.

X. Literaturverzeichnis[1]).

Albers-Schönberg, Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Organismus der Tiere, M. m. W. 1903, Nr. 43 S. 1859.

Alberti, W. und G. Politzer, Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung, Arch. f. mikr. Anat. 1923, 100, H. 1/2 S. 83; 1924, 103, H. 1/2 S. 284.

Ancel, P. et P. Bouin, Rayons X et glandes genitales, La Presse médic. 1907.

— Les cellules séminales ont-elles une action sur les caractères sexuels? Discussion et nouvelles recherches, C. R. de la Soc. de Biol. Paris 1923, 89 S. 175.

Arning, Bei Simmonds, l. c. 1909.

Barrat, J. O., W. und G. Arnold, Cell changes in the Testis due to X-Rays, Arch. f. Zellforsch. 1911, 7 S. 242.

Béclère, A., La radiothérapie des néoplasmes intra-abdominaux d'origine testiculaire, Journ. de radiologie et d'électrol. 1916—1917, T. II S. 287.

— et Siredey, Un cas de pseudo-hermaphroditisme androgyne aves tumeur intra-abdominale consécutive a l'ablation d'un rudiment de glande génitale. Disparition rapide de cette tumeur sous l'influence de la Radiothérapie, Journ. de Radiol. et d'Electrol. 1921, T. V, S. 211.

Belot, J., Stérilité et rayons X, Presse médical, Paris 1923 S. 642.

Benoit, J., Sur une méthode permettant de mesurer la masse absolue du tissu interstitiel testiculaire, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1922, T. 87 S. 1385.

[1]) Berücksichtigt die Röntgen- und Radiumliteratur des Hodens möglichst vollständig, die übrige Hodenliteratur nur soweit, als sie im Texte zitiert ist.

Berblinger, W., Die genitale Dystrophie in ihrer Beziehung zu Störungen der Hypophysenfunktion, Virch. Arch. 1920, 288 S. 151.
— Zur Frage der sog. Pubertätsdrüse des Menschen, M. Kl. 1920, Nr. 21 S. 617.
Bergonié, J., Action novice des rayons X sur divers organs et tissus sains et moyen de la prévenir, 1e congrès pour l'étude de la radiologie et de L'ionisation, Le Radium, 1905, vol. II.
— und L. Tribondeau, Action des rayons X sur le testicule du rat blanc, 1er note, C. R. de la Soc. de Biol. Paris, 1904, 57.
— Action des rayons X sur le testicule du rat blanc, 2e note, 1904, Ibid. 57.
— Action des rayons X sur les spermatozoides de l'homme, 1904, Ibid. 57.
— Action des rayons X sur le testicule du rat blanc, 3e note, 1905, Ibid. 58.
— Action des rayons X sur le testicule du rat blanc, 4e note, 1905, Ibid. 58.
— Aspermatogénèse expérimentale après une seule exposition aux rayons X, 1905, Ibid. 58.
— L'aspermatogénèse expérimentale complète obtenue par des rayons X est-elle definitive? 1905, Ibid. 58.
— Lésions de testicule obtenues aves des doses croissantes de rayons X. Comment se produisent-elles? 1905, Ibid. 58.
— Action des Rayons X sur la glande génitale mâle. Archives d'électricité médicale, 1906, S. 1.
— Action des rayons X sur le testicule, Arch. d'électr. médicale, 1906, Nr. 200—203.
— Interprétations de quelques résultats de la Radiotherapie et essai de fixation d'une technique rationelle, C. R. de la Soc. de Biol. Paris, 1906, 59 S. 983.
— Processus involutif des follicules ovariens après Röntgénisation de la glande génitale femelle, 1907, Ibid. 62.
— Alterations de la glande interstitielle après Roentgénisation de l'ovaire, 1907, Ibid. 62 und Arch. d'électr. méd. 15.
Biedl, A., Innere Sekretion, 1916, 3. Aufl., II. T., S. 199 u. f., Verl. Urban und Schwarzenberg.
Bier, A., Die Entstehung des Kollateralkreislaufes, 1897, Virch. Arch. 147, S. 256 u. 444, u. 1898, 153, S. 306 u. S. 434.
Blanc, J., Action des Rayons X sur le testicule, Thèse de Lyon, 1906.
Bouin, P., Phénomènes cytologiques anormaux dans l'histogénese et l'atrophie expérimentale du tube séminifère, Thèse de Nancy, 1897.
— et P. Ancel, Recherches sur les cellules interstitielles du testicule des Mammifères, Arch. de Zoologie exp. et générale, 1903, 1 S. 437.
— et F. Villemin, Glande interstitielle et rayons X, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1907, 62 S. 337.
Brown, J. and A. T. Osgood, X-rays and Sterility, Americ. Journ. of Surg. 1905, 18.
— Present status of Roentgen-ray sterility, Americ. Journ. of urology, Okt. 1907.
Buschke, A., Demonstration von Präparaten, betreffend die Wirkungsweise der Röntgenstrahlen, B. kl. W. 1905.
— und H. E. Schmidt, Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Drüsen, V. Internat. Dermat.-Kongreß, Berlin 1904, Verh. u. Ber. 1905, 2, T. I und D. m. W. 31. Jg.
Ehrmann, O., Beitrag zur Kasuistik der Hodenbestrahlung (Röntgenkastration) bei Prostatahypertrophie, M. m. W. 1912.
Faber, A., Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Sexualorgane von Tier und Mensch, Fortschr. d. Röntgenstr. 1910—1911, 16 S. 365.
Fraenkel, M., Unfruchtbarmachung durch Röntgenstrahlen bei Verbrechern und Geisteskranken, Berlin 1914, Verl. v. P. Langenscheidt.
Frieben, Hodenveränderungen bei Tieren nach Röntgenbestrahlung, M. m. W. 1903, Nr. 52 S. 2295.
Gavazzeni, S. und S. Minelli, Die Autopsie eines Röntgenologen, Strahlenther. 1914, 5.
Gerhartz, H., Beitrag zur Kenntnis vom Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Geschlechtsorgane, Arch. f. ges. Physiol. 1910, 131.
Goette, K., Beitrag zur Atrophie des menschlichen Hodens, Vöff. aus dem Gebiet der Kriegs- und Konstitutionspathologie, 9. H. (2, H. 5), Jena, Gustav Fischer 1921.
Hada, B. und A. Götzl, Wechselbeziehungen zwischen Hoden und Prostata, Prag. m. Wschr. 1914, Nr. 32.
Halberstädter, L., Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Ovarien, B. kl. W. 1905, Nr. 3 S. 64.
Harms, W., Keimdrüsen und Alterszustand, Fortschr. naturw. Forschg. 1918, 11 S. 189.
Heineke, H., Zur Theorie der Strahlen über die Latenzzeit, M. m. W. 1914, Nr. 15 S. 807.
Hermann, F., Beiträge zur Histologie des Hodens, Arch. f. mikr. Anat. 1889, 34 S. 58.
Herxheimer, G. und K. F. Hoffmann, Über die anatomischen Wirkungen der Röntgenstrahlen auf den Hoden, D. m. W. 1908, Nr. 36 S. 1551.

Heß, W. R., Die Regulierung des peripheren Blutkreislaufes, Erg. d. Inn. M. 1923, 23 S. 1.
Hida, S. und K. Kuga, Einfluß der Röntgenstrahlen auf den Hoden des Kaninchens und Hahnes, Fortschr. d. Röntgenstr. 1911, 17 S. 92.
Hoek, A., Zur Ätiologie der Prostatahypertrophie und ihrer Behandlung mit Röntgenbestrahlung der Hoden, M. m. W. 1911, Nr. 48 S. 2565.
Hoffmann, F. K., Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf den Kaninchenhoden. Diss. med. Bonn 1908.
Kitabara, Y., Über die Entstehung der Zwischenzellen der Keimdrüsen des Menschen und der Säugetiere und über deren physiologische Bedeutung, Arch. f. mikr. Anat. u. Entw. Mech. 1923, 52/97 S. 550.
Krause P. und K. Ziegler, Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf tierisches Gewebe, Fortschr. d. Röntgenstr. 1905, 10, H. 3 S. 126.
Krüger, R., Experimentelle Untersuchungen zum Röntgenschutz mit besonderer Berücksichtigung der Sekundärstrahlenwirkung, Strahlenther. 1913, 3.
Kyrle, J., Über die Regenerationsvorgänge im tierischen und menschlichen Hoden, Sitzungsber. Ak. Wiss. Wien 1911, 120 S. 3.
Lacassagne, A., Intégrité fonctionnelle des spermatozoïdes provenant de testicules repeuplés après une stérilisation temporaire par les radiations, Bulletin d'Histologie et de techn. Micr. T. I, Nr. 1, Janvier 1924.
Laquerrière, Un cas d'azzospermie chez un médecin radiologue, Congrès de Lyon, 1906. (Siehe auch bei Roulier, l. c.)
Levy, E., Referat über Lipschütz, Zeitschr. f. urolog. Chir. 16, H. 1/2, Referatenteil S. 18, 1924.
Lipschütz, A., Die Pubertätsdrüse und ihre Wirkungen, Bern 1919, Ernst Bircher.
Bemerkungen zur Arbeit von H. Stieve „Neue Untersuchungen über die Zwischenzellen", Anat. Anz. 1923, 56 S. 564.
Markovits, E., Temporäre Sterilisation von Mann und Frau in wechselnder Folge mittels Röntgenstrahlen, D. m. W. 1922, Nr. 14 S. 459.
— Zur röntgenologischen Kastration beim Manne, M. m. W. 1923, Nr. 15 S. 457—459.
Minot, Ch. S., Moderne Probleme der Biologie, Jena, Gustav Fischer, 1913.
Mohr, O. L., Mikroskopische Untersuchungen zu Experimenten über den Einfluß der Radiumstrahlen und der Kälteeinwirkung auf die Chromatinreifung und das Heterochromosom bei Decticus verrucivorus, Arch. f. mikr. Anat. 1919, 92 S. 300.
v. Monakow, C., Eine neue Form von Dysgenesie der Plexus choroidei laterales; als morphologische Basis der Dementia praecox (Katatonie), (Beitrag zur Pathologie und Physiologie des Plex. chor.), Libro en honor de D. S. Ramon y Cajal, Tomo 2, Madrid 1922 S. 159.
Müller, W., Beitrag zur Frage der Strahlenwirkung auf tierische Zellen, besonders auf die Ovarien, Strahlenther. 1915, 5 S. 144.
De Nabias, S. et J. Forestier, Note sur le traitement curithérapique des épithéliomas malpighiens, C. r. de la Soc. de Biol. 1923, 20. Janvier, Nr. 2.
Nogier, Th. und C. Regaud, Action comparée sur les cellules séminales du faisceau total des rayons de Roentgen et des rayons durs seuls, C. r. de l'Acad. des Sc. 1909, T. 149.
Action des rayons X sur le testicule du chien. Conditions de la stérilisation complète et définitive, C. r. de la Soc. de Biol. Paris 1911, 70.
– Structure cellulaire et structure syncytiale des éléments nourriciers de l'épithélium séminal, C. r. de l'assoc. des anatomistes, 13. Réunion, Paris 1911, S. 303.
Action des rayons X sur le testicule du chien. Conditions de la stérilisation complète et définitive, C. r. de la Soc. de Biol. 1911, T. 70 S. 50.
– Sur les cellules oviformes de l'épithélium séminal du chat et du chien adultes et sur les relations génétiques de la lignée spermatique avec les cellules nourricières, C. r. de l'assoc. des anatomistes, 13. Réunion, Paris 1911 S. 305.
– Sur l'hypertrophie compensatrice de la glande interstitielle du testicule consécutive a la castration unilatérale chez des animaux roentgenisés. Associatio des Anatomistes, 13. Réunion, Paris 1911 S. 293.
Peters, E., Wirkung lokalisierter, in Intervallen erfolgter Röntgenbestrahlungen auf Blut, blutbildende Organe, Nieren und Testis, Fortschr. d. Röntgenstr. 1910—1911, 16.
Petry, E., Zur Mechanik der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen, Bioch. Zschr. 1913, 56 S. 341.
Phillip, Die Röntgenbestrahlung der Hoden des Mannes, Fortschr. d. Röntgenstr. 1904—1905, 8.
Regaud, Cl., Etude sur la structure de tubes séminifères et sur la spermatogénèse chez les Mammifères, Arch. d'Anat. micr. 1901, T. 4.

Regaud, Cl., Sur la fasciculation des spermies en voie de développement et la rétraction de leurs faisceaux vers les noyaux de Sertoli, C. R. de la Soc. de Biol. 17. Nov. 1906, S. 431.
- Action des rayons de Roentgen sur l'épithélium séminal. Applications des résultats a certains problèmes concernant la structure et les fonctions de cet épithélium, C. R. de l'assoc. des anatomistes, Lille 1907, 9. réunion S. 30.
- Lésions déterminées par les rayons de Roentgen et Becquerel-Curie dans les glandes germinales et dans les cellules sexuelles chez les animaux et chez l'homme. Assoc. franc. pour l'avanc. des sciences. Congrès de Clermont-Ferrand 1908, 13e Section Electricité médicale.
— Particularité d'action des rayons de Roentgen sur l'épithelium séminal du chat, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1910, T. 68 S. 541.
— Quelques données sur la vitesse et la continuité du mouvement spermatogénique chez les Mammifères, Compt. rend. de l'assoc. des anatomistes, 13. Réunion, Paris 1911 S. 314.
— Sur les variations de la radiosensibilité (aux rayons X) des cellules nourricières de l'épithélium séminal, chez le rat., Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1913, T. 74 S. 1256.
— Influence de la durée d'irradiation sur les effets déterminés dans le testicule par le radium, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1922, T. 86, S. 787 et 822.
- Le rythme alternant de la multiplication cellulaire et la radiosensibilité du testicule. Compt. rend. de la Soc. de Biol., Séance du 29. Avril 1922, S. 822.
— La période de latence dans les effets biologiques des rayons X et γ. Son explication histo-physiologique, Bulletin de l'académie de Médecine, Paris, 20. Novembre 1923 S. 1.
— A propos de la durée d'application en curiethérapie et sur la valeur pratique de l'index karyokinétique, Bull. de l'assoc. franc. pour l'étude du cancer, Juin 1923, T. 12 Nr. 6.
— et J. Blanc, Action des rayons de Roentgen sur les phénomènes de la vie cellulaire en général, d'après les résultats obtenus sur l'épithélium séminal, C. R. de la Soc. de Biol. Paris 1906, T. 61.
— Mode d'action des rayons X sur les tissus, et en particulier sur l'épithélium séminal. Associat. franc. (pour l'avanc. des Sciences), 35. Session, Lyon 1906, S. 170.
— Action des rayons X sur les diverses générations de la lignée spermatique. Extrême sensibilité des spermatogonies à ces rayons, C. R. de la Soc. de Biol. 27. Juli 1906, 61 S. 163.
— Action tératogène des rayons X sur les cellules séminales, ibid. 10. Nov. 1906, S. 390.
— Action des rayons de Roentgen sur les divers éléments de l'épithélium séminal, ibid. 22. Dez. 1906 S. 652.
— Effets généraux produits par les rayons de Roentgen sur les cellules vivantes d'après les résultats observé jusqu'à présant dans l'épithélium séminal, ibid. 29. Dez. 1906 S. 731.
— Action des rayons X sur la spermatogénèse du rat blanc et considérations générales sur cette action. Assoc. franc. pour l'avancement des sciences, Lyon, 2.—9. août, Arch. d'electr. méd. 1906, Nr. 195, S. 573.
— et G. Dubreuil, Action des rayons de Roentgen sur le testicule du lapin. I. Conservation de la puissance virile et stérilisation, ibid. 14. Dez. 1907, T. 63; S. 647.
— Action des rayons de Roentgen sur le testicule du lapin. II. Modifications de l'épithélium séminal. Etat de l'epididyme, C. R. de la Soc. de Biol. Paris 1907, T. 63.
— Action des rayons de Roentgen sur le testicule des animaux impubères: Immunité (relative) de l'épithélium séminal, C. R. de la Soc. de Biol. Paris 1908, T. 65.
— Action des rayons de Roentgen sur le testicule des animaux impubères (1), Lyon médical 1908, T. 111, Nr. 47 S. 413.
— Influence de la roentgénisation des testicules sur la structure de l'épithélium séminal et des épididymes, sur la fécondité et sur la puissance virile du lapin, Lyon méd. 1908, T. 110, Nr. 9 S. 457.
Regaud, Cl. et A. Lacassagne, A propos des modifications déterminées par les rayons X dans l'ovaire de la lapine, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1922, 87 S. 938.
Regaud, Cl. et Th. Nogier, Stérilisation complète et définitive des testicules du Rat, sans aucune lésion de la peau, par une application unique de rayons X filtrés, C. R. de l'Acad. des Sciences, 27. Dez. 1909, 149 S. 1398.
— Sur l'hypertrophie compensatrice de la glande interstitielle du testicule, Compt. rend. de l'assoc. des anatomistes, Paris 1911, 13. Réunion S. 293.
— Stérilisation roentgénienne, totale et définitive, sans radiodermite, des testicules du bélier adulte, Conditions de sa réalisation, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1911, 70 S. 202.
— Sur la stérilisation du testicule du chat par les rayons X. Conditions techniques de sa réalisation, Compt. rend. de la Soc. de Biol. 1911, 70 S. 5.
— et A. Tournade, Sur le sort des spermatozoides inclus dans l'épididyme, Compt. rend. de L'assoc. des anatomistes, 13. Réunion, Paris 1911 S. 244.
Ribbert, H., Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie, 5. Aufl., Leipzig 1915.

Romeis, B., Untersuchungen zur Verjüngungshypothese Steinachs, M. m. W. 1921, Nr. 20 S. 600. Geschlechtszellen oder Zwischenzellen? Kritisches Referat über die Ergebnisse des letzten Jahres, Kl. W. 1922 S. 960, 1005, 1064.
Roulier, F., Action des rayons X sur les glandes génitales, Thèse de Paris, 1906.
Sasaki, J., Über die experimentelle Prostataatrophie durch Röntgenbestrahlung des Hodens, Zschr. f. Chir. 1913, 122 S. 291.
Schinz, H. R., Ein Beitrag zur Röntgenkastration beim Mann, Schweiz. m. Wschr. 1922, Nr. 36 S. 886.
— Der Röntgenabort. Zugleich ein Beitrag zu spontanem Früchteschwund, zur Eiüberwanderung und zur Frage der innersekretorischen Gewebselemente der Keimdrüsen, Strahlentherap. 1923, 15 S. 84.
Grundfragen der Strahlenbiologie. 1. Gibt es eine spezifische Wirkung der Röntgenstrahlen? 2. Über die elektiven Wirkungen der Röntgenstrahlen. 3. Über die verschiedenen Arten der Röntgenhypobiosen, Kl. W. 1924, S. 2349 Nr. 51.
und B. Slotopolsky, Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf den in der Entwicklung begriffenen Hoden, Arch. f. mikr. Anat. 1924, 102 S. 363.
— Beiträge zur experimentellen Pathologie des Hodens und zur Histologie und Histogenese des normalen Hodens, der Hodenatrophie und der Hodennekrose. Denkschriften der Schweiz. Naturforsch. Ges. 1924, 61, Abh. 2 S. 2.
Experimentelle und histologische Untersuchungen am Hoden, D. Zschr. f. Chir., 1924, 188 S. 76.
— Grundsätzliches zur Steinach-Operation. — D. m. W. 1925.
Schmidt, H. E., Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die männlichen und weiblichen Keimdrüsen und die Geschlechtsfunktionen, Arch. f. Sexualf. 1912, 1.
Scholtz, W., Über die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen, D. m. W. 1904, Nr. 25 S. 908.
Schwarz, G., Biologische und histologische Untersuchungen zur Frage der Dosisverteilung bei Geschwülsten, Verh. D. Röntg. Ges. 1924, 15 S. 131.
Seldin, M., Über die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf innere Organe und Gewebe. Inaug.-Diss. Königsberg u. Fortschr. d. Röntgenstr. 1904, 7, H. 6 S. 322.
Sénat, R., Contribution à l'étude de Tissu conjonctif du Testicule, Thèse de Lyon 1900.
Simmonds, M., Über die Einwirkung von Röntgenstrahlen auf den Hoden, Fortschr. d. Röntgenstr. 1909, 14, H. 4, S. 229 u. 272.
— Über Mesothoriumschädigung des Hodens, D. m. W. 1913, 39 S. 2291.
Slotopolsky, B. und H. R. Schinz, Histologische Hodenbefunde bei Sexualverbrechern. Virch. Arch. 1925.
— Histologisches zur Steinach-Unterbindung. Zeitschr. f. mikr. anat. Forschg. 1925.
Solomon et Gilbert P., La radiothérapie dans les séminomes, Bulletin de la Soc. de Radiologie méd. de France, Décembre 1922 S. 258—261.
Spangaro, S., Über die histologischen Veränderungen des Hodens, Nebenhodens und Samenleiters von Geburt an bis zum Greisenalter, Anat. H. 1902, 28 H. 60.
Specht, O., Mikroskopische Befunde an röntgenisierten Kaninchenovarien, Arch. f. Gyn. 1906, 78, H. 3 S. 458.
Steinach, E., Verjüngung durch experimentelle Neubelebung der alternden Pubertätsdrüse, Arch. f. Entw. Mech. 1920, 46 S. 553.
Steindl, H., Erfahrungen mit der Resektion des Vas deferens, Arch. f. klin. Chir. 1924, 130, H. 1 u. 2 S. 117.
Stieve, H., Das Verhältnis der Zwischenzellen zum generativen Anteil im Hoden der Dohle (Colaeus monedula), Arch. f. Entw. Mech. 1919, 45 S. 455.
— Entwicklung, Bau und Bedeutung der Keimdrüsenzwischenzellen, Erg. d. Anat. 1921, 23 S. 1.
— Untersuchungen über die Wechselbeziehungen zwischen Gesamtkörper und Keimdrüsen. I. Mastversuche an männlichen Gänsen, Arch. f. Entw. Mech. 1922, 52, H. 1/2 S. 313. II. Beobachtungen und Versuche an männlichen Hausmäusen und an männlichen Feldmäusen, zugleich ein weiterer Beitrag zur Zwischenzellenfrage, Arch. f. mikr. Anat. 1923, 99, H. 2/4 S. 390.
— Der Einfluß des Alkohols auf die Samenbildung der Hausmaus, Naturw. Korr. 1923, 1. Jg., H. 1 S. 2.
— Vergleichende physiologisch-anatomische Beobachtungen über die Zwischenzellen des Hodens, Pflüg. Arch. 1923, 200 S. 470.
Tandler J. und S. Groß, Untersuchungen an Skopzen, W. kl. W. 1908, Nr. 9 S. 277.
— Die biologischen Grundlagen der sekundären Geschlechtscharaktere, Berlin, Springer 1913.
Tappeiner, Fr. H., Beitrag zur Behandlung der Prostatahypertrophie durch Röntgenbestrahlung der Hoden, D. Zschr. f. Chir. 1912, 115 S. 568.

Thaler, H. A., Über die feineren Veränderungen im Hodengewebe der Ratte nach Einwirkung von Radiumstrahlen, D. Zschr. f. Chir. 1905, 79 S. 576.
Thies, A., Wirkung der Radiumstrahlen auf verschiedene Gewebe und Organe, Mitt. Grenzgeb. 1905, 14.
Tribondeau, L., De l'influence des rayons X et activité génitale, C. R. de l'Assoc. des Anat. 8. Réunion, Bordeaux 1906.
Unzeitig, H., Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Bursa Fabricii und einige andere Organe junger Hühner, Arch. f. mikr. Anat. 1913, 82 S. 380.
Villemin, F., Rayons X et activité génitale, C. R. de l'Acad. des Sciences 1906, 142 S. 723.
— Sur la régéneration de la glande séminale après destruction par les Rayons X, C. R. de la Soc. de Biol. 23. juin 1906, 60, S. 1076.
Wegelin, C., Über Spermiophagie im menschlichen Nebenhoden, Zieglers Beitr. z. path. Anat. 1921, 69 S. 281.
Werner, R., Vergleichende Studien zur Frage der biologischen und therapeutischen Wirkung der Radiumstrahlen, Inaug.-Diss. Tübingen 1906.
Zindel, L., Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Hodenbestrahlung auf die Prostata, Zschr. f. urol. Chir. 1913, 1.

Die Strahlenbehandlung des Kollumkarzinoms

Von

Professor Dr. **Wilhelm Lahm**
Vorstand des Laboratoriums und Leiter des Röntgeninstitutes
der Staatlichen Frauenklinik Dresden

Mit 48 Abbildungen im Text und 24 Tabellen

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorbemerkung 530

1. Kapitel: Die Diagnose des Kollumkarzinoms, seine Ausbreitung nach der Umgebung und die Frage der Operabilität 531

2. Kapitel: Operieren oder Bestrahlen? 537

1. Die quantitative Seite der Frage 538
2. Die qualitative Seite der Frage 541
a) Lebensverlängerung 541
b) Rezidivbildung 542
c) Matastasenbildungen nach ferngelegenen Organen 543
d) Die Möglichkeit der lokalen und allgemeinen Schädigungen 543
e) Die Besserung der Operabilitätsziffer 544
f) Die Beeinflussung der Schmerzen 544
g) Die Behandlungsfähigkeit der Rezidive 544

3. Kapitel: Die Radiumbestrahlung 545

I. Zur historischen Entwicklung 545

II. Die Radiumtechnik 550

A. Vorbereitende Maßnahmen 551

1. Desinfektion 551
2. Probeexzision und Exkochleation 551
3. Probebestrahlung 552

B. Die Dosierung 553

1. Radiosensibilität und Radiosensibilisierung 554
2. Maßeinheiten 557
3. Dosierungstabellen 559
4. Einheit der Dosis 568
5. Die Reizsummation und das Zeitproblem 570

C. Die strahlende Substanz 571

1. Fassung und Form 571
2. Filterung 573
3. Bestrahlungsapparate 573
a) Heidelberger Gerät 573
b) Berliner Gerät 574
c) Münchner Gerät 575
d) Dresdner Gerät 575
4. Die Fassung der radioaktiven Substanz 577

D. Hilfsinstrumente 578

E. Ort und Art der Applikation 578

1. Zentrale Applikation (zervikale) 579
2. Urethrale und vesikale Bestrahlung 579
3. Rektale Applikation 580
4. Vaginale Applikation 580
5. Parametrane Applikation 580
6. Abdominale Bestrahlung 581

Seite

F. Die Praxis der Radiumbestrahlung 582
1. Wie weit ist das Karzinom ausgebreitet? 582
2. Wie hoch ist die Sensibilität? 582
3. Wo liegt die Grenze der erlaubten Dosis? 582
4. Indikationen und Kontraindikationen. Prognose 587
5. Gefahren und Schädigungen 589
Anhang: Die Emanationsbehandlung 591

4. Kapitel: Die Röntgenbestrahlung des Kollumkarzinoms 595
I. Zur historischen Entwicklung 595
II. Die Röntgentechnik 598
A. Vorbereitende Maßnahmen 598
B. Die Dosierung 602
1. Allgemeines 602
2. Der Dosisbegriff und die Karzinomdosis 603
a) Verzettelung der Dosen 606
b) Die Reizdosierung 607
c) Ungenügende Dosierung 608
3. Die Radiosensibilität und Radiosensibilisierung 609
4. Maßeinheiten 611
5. Intensitätsverteilung und Dosierungstabellen 617
C. Die Apparaturen 622
1. Einstell- und Bestrahlungsgeräte 623
2. Strahlensammler 624
3. Umbaumethoden 625
D. Bestrahlungsmethoden 626
I. Allgemeiner Teil 626
a) Die homogene Bestrahlung 626
b) Der Zeitfaktor 628
c) Messung der Dosen 629
II. Spezieller Teil 630
1. Die Bestrahlungsmethode von Seitz-Wintz 630
a) Die Vorbehandlung einschließlich der Verkupferung 630
b) Die Röntgenbestrahlung 632
c) Die Nachbehandlung 634
2. Die Methode von Krönig-Friedrich-Opitz 635
3. Methode Dessauer-Warnekros 636
4. Methode Martius 638
5. Eigene Methode 639
6. Kritik und Ausschau 641
Anhang: Die postoperative Nachbestrahlung und die kombinierte Radium-Röntgenbestrahlung 643

5. Kapitel: Die Folgen und Erfolge der Strahlenbehandlung 650
1. Der klinische Heilungserfolg 650
2. Die histologischen Veränderungen des Karzinomzerfalls und des Gewebsaufbaues 652
3. Der zahlenmäßig nachweisbare Erfolg 655
a) Für die Radiumbestrahlung 655
b) Für die Röntgenbestrahlung 657
c) Radium-Röntgen kombiniert 658
d) Prophylaktische Nachbestrahlung 659

Literaturverzeichnis 660

Vorbemerkung.

Verfahren nicht nur den Raum, der mir zur Verfügung stand, weit überschritten, sondern auch noch derartiger Vorarbeiten bedurft hätte, wenn „Ergebnisse" daraus hätten werden sollen, daß es mir in so kurzer Zeit schlechterdings unmöglich gewesen wäre, zu einem Abschluß zu kommen. Ich habe deshalb — an meinem Entwurf allerdings festhaltend — das erste[1]) und auch das zweite Kapitel nur sehr kursorisch behandelt und im wesentlichen die eigenen Beobachtungen und wenig Literaturangaben herangezogen. Ganz ausführlich habe ich aber dann die Radium- und Röntgenbestrahlung besprochen und ihr eine Übersicht über die zur Zeit bekannten Erfolge angegliedert. Dadurch erhält mein Thema die Einteilung von selbst; und wer sich mehr für seinen klinisch-technischen Teil interessiert, kann zur Not die beiden ersten Kapitel überschlagen, um so mehr, als auch später immer auf die anatomischen Verhältnisse Rücksicht genommen ist.

Erstes Kapitel.

Die Diagnose des Kollumkarzinoms, seine Ausbreitung nach der Umgebung und die Frage der Operabilität.

Die Diagnose des Kollumkarzinoms geschieht mit Hilfe der klinischen Beobachtung und der makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung. Sie kann leicht und sicher sein, aber sie kann selbst dem Erfahrenen größte Schwierigkeiten bereiten. Manchmal bleibt die Diagnose trotz aller Hilfsmittel offen, wenn es sich z. B. um atypische präkankrose Epithelwucherungen handelt (Geller) oder wenn, nach Entfernung des verdächtigen Gewebes durch die Exzision, die Gesundheit dauernd erhalten bleibt. Selbst sichere Karzinome können bekanntlich durch einfache lokale Eingriffe gelegentlich zur Heilung kommen. Für die Frühdiagnose hat die mikroskopische Untersuchung überragende Bedeutung.

Der mikroskopischen Untersuchung möchte Wintz nicht prinzipiell das Wort reden. Er glaubt beobachtet zu haben, daß der Erfolg der Strahlenbehandlung in den Fällen zu wünschen übrig ließ, wo Exzisionen vorgenommen worden sind. Wenn die Diagnose Karzinom makroskopisch-klinisch feststehe, möge die mikroskopische Untersuchung ruhig unterbleiben. Einen solchen Standpunkt kann ich nicht teilen. Einmal habe ich einen derartigen Einfluß der Exzision auf die Prognose der Fälle nicht feststellen können, und anderseits halte ich es doch für viel zu wichtig, daß nicht nur der Arzt zu einer genauen lokalen Kontrolle, einschließlich der Probeexzisionen, angehalten wird (Frühdiagnose!), sondern daß auch die Diagnose in jedem einzelnen Falle, schon im Interesse der späteren Beurteilung, möglichst genau gestellt wird. Wintz empfiehlt die Probeexzision eventuell nach der ersten Bestrahlung vorzunehmen. Dagegen ist natürlich nichts einzuwenden. Wir in Dresden haben dies in der Zeit, als wir die sog. probatorischen Bestrahlungen vornahmen, stets getan. Eine Verschlechterung des Erfolges haben wir dabei nicht beobachten können, auch die Diagnose selbst wurde durch die vorangegangene Bestrahlung nicht erschwert.

Auf Einzelheiten der makroskopisch-mikroskopischen und klinischen Diagnose möchte ich nicht eingehen. Ein Wort dagegen über die serologischen Methoden zur Diagnose, welche jetzt mehr und mehr sich in den Vordergrund drängen. Sachs hat uns darüber vor kurzem eine zusammenfassende Darstellung geschenkt, deren wesentlichste Gesichtspunkte ich hier wiederholen möchte.

[1]) Siehe meinen Beitrag zu Seitz-Halban, Biologie u. Pathologie des Weibes, Urban-Schwarzenberg 1924, Bd. 4.

Sachs selbst hat an den Anfang seiner Beobachtungen das Ergebnis der bisherigen Untersuchungen gestellt und betont, daß die Serologie uns bis heute noch keine brauchbare Antwort auf die vielen Fragen der Geschwulstbildung im Organismus gegeben habe.

Geht man davon aus, daß die Karzinome nicht Infektionskrankheiten im gewöhnlichen Sprachgebrauch sind, so kann man nicht erwarten, Immunitätsreaktionen bei ihnen zu finden. Es kommt hinzu, daß uns die Gegenwart von Antikörpern (bei infektiösen Erkrankungen) nur darüber belehrt, ob ein bestimmter Erreger in den Organismus einmal eingedrungen ist. Ob er noch anwesend ist oder bereits eliminiert wurde, darüber sagt uns die Immunitätsreaktion nichts aus.

Trotzdem haben die Untersuchungen, wie sie in der Immunitätswissenschaft, besonders im Zusammenhange mit der Syphilisreaktion, angestellt worden sind, uns aussichtsreiche Wege und Arbeitsmethoden eröffnet. Es führt das Geschwulstwachstum ebenso wie die Veränderungen, welche unter dem Einfluß der Lues entstehen, nicht nur zu einer Alteration des lokal ergriffenen Gewebes, sondern auch der näheren und weiteren Umgebung. So entstehen im Serum und noch mehr im Plasma des Blutes Veränderungen, welche dem Nachweis auf irgendeine Art zugänglich sind (Mahnert und Zacherl). In erster Linie scheint es sich hierbei um die Anwesenheit von Eiweißsubstanzen mit gesteigerter Labilität zu handeln. Alle die Reaktionen, welche bei der Lues, dem Karzinom, der Gravidität und der Tuberkulose bisher positiv gefunden worden sind, müssen, wie es scheint, in ihrer letzten Bedingtheit auf derartige Stabilitätsdifferenzen im Serum und Plasma zurückgeführt werden (Sachs). Präzipitation, Komplementbindung, Anaphylaxiereaktion, Fermentnachweis nach Abderhalden oder Kottmann, die gesteigerte Senkungsgeschwindigkeit (Klein, Mickulicz-Radecki), die Freund-Karminersche und Meiostagninreaktion und selbst der veränderte Antitrypsingehalt sollen und können so eine Erklärung finden. Als spezifisch ist keine dieser Reaktionen erkannt worden. Eine etwas andere Stellung nehmen vielleicht die hämolytischen Reaktionen von Kahn-Potthoff und Dietrich ein, wo durch Zusatz von Normalserum die Fettsäure- oder Gallensäurehämolyse stärker gehemmt wird als durch das Serum von Karzinomkranken. Aber auch hier ist die Reaktion nicht spezifisch.

So ist also das Ergebnis der Serumreaktionen zwar für unsere Kenntnisse der Biologie der Geschwülste nicht ganz negativ, aber was wir für die Diagnose des Karzinoms und noch mehr für die des Rezidivs brauchen, wird uns nicht gegeben.

Das bisher Besprochene betrifft, mit einziger Ausnahme vielleicht der serologischen Reaktionen, die rein formale Diagnose. Wir stellen damit fest, daß ein Karzinom vorliegt. Ich betone es schon lange, daß uns mit der einfachen formalen Diagnose nicht gedient ist und stelle ihr zur Seite die **funktionelle Diagnose**, d. h. das Feststellen vom Wesen und dem Charakter des malignen Wachstums. Wir wollen in der Diagnose nicht nur einen morphologischen, sondern auch einen biologischen Inhalt finden.

Was ich als funktionelle Diagnose des Kollumkarzinoms bezeichne, finden wir zum ersten Male in der großen Monographie über das Uteruskarzinom von Schottländer und Kermauner erwähnt. Ich habe das gleiche Thema in dem oben erwähnten Beitrage zum Handbuch der Biologie und Pathologie des Weibes von Seitz und Halban eingehend behandelt. Von den verschiedensten Gesichtspunkten aus kann man dementsprechend das Kollumkarzinom betrachten: nach der Schwere der Erkrankung, nach der äußeren Form des Karzinoms, welche die „innere Form“ und Wachstumsrichtung wiederspiegelt und nach dem Reifegrad des karzinomatösen Gewebes, der Differenzierung der Zellen, wie man sie auch nennt.

Die **Schwere** der Karzinomerkrankung beurteilt man nach der Ausdehnung des Neoplasmas und nach seinen Folgen. Krönig und Döderlein haben vier Gruppen des Kollumkarzinoms unterschieden, welche für die Prognose der Fälle und ihre Operabilität die nötigen Anhaltspunkte geben sollen.

Gruppe I: Das Karzinom reicht bis an das parazervikale Gewebe heran; die Grenze, welche durch die äußersten Muskelfasern der Zervix bestimmt wird, ist noch nicht überschritten.

Gruppe II: Das Karzinom reicht in kontinuierlichen breiten Strängen bis zur Beckenwand.

Gruppe III: Außer dem Primärherd am Collum uteri findet man die Beckenlymphdrüsen, besonders die Iliakaldrüsen, erkrankt, dabei ist es gleichgültig, ob das Parametrium mitbeteiligt ist oder frei gefunden wird.

Gruppe IV: Das Karzinom ist über das kleine Becken hinaus fortgeschritten, Metastasenbildungen in ferngelegenen Organen sind nachweisbar oder wahrscheinlich.

Den Folgen nach betrachtet man Karzinome als schwer, bei denen ischiasartige Schmerzen bereits vorhanden sind, bei denen es zu einer Kompression der Ureteren gekommen ist und wo Schwierigkeiten der Stuhl- und Harnentleerung bereits beobachtet werden. Eine allgemeine Kachexie verstärkt den üblen Eindruck, muß aber nicht unbedingt vorhanden sein.

Die Beurteilung der Karzinome nach der Schwere ist höchst unsicher. Selbst am anatomischen Präparat kann es noch schwer sein festzustellen, wie weit das Karzinom vorgedrungen ist. Um wieviel schwerer muß deshalb die Beurteilung bei der klinischen Untersuchung sein! Zweifellos aber bedeutet die mutmaßliche Schwere des Karzinoms (Gruppeneinteilung) für den Operateur einen guten Anhaltspunkt für seine Indikationsstellung. Für den Radiotherapeuten aber kommt weniger die vorhandene als die mögliche Ausbreitung in Frage, wie wir später noch eingehender besprechen werden (siehe auch die Frage der Lebensdauer der karzinomkranken Frauen auf S. 18).

Nach der **äußeren Form** unterscheidet man das Kollumkarzinom als Tumor, als Ulkus und als karzinomatösen Krater. Das Karzinom erhebt sich also über die Basis, es bleibt mit ihr gleich oder es bricht in dieselbe ein. Als besondere Form der nicht erhabenen Karzinome kennen wir den sog. Zuckergußkrebs, von dem nicht feststeht, ob er dem Corpus oder dem Collum uteri angehört. Der zentrale Zervixknoten ist gewöhnlich eine Abart des in die Tiefe wachsenden karzinomatösen Kraters. Nach der Konsistenz unterscheidet man die weichen markigen von den skirrhösen Karzinomen. Sie enthalten einen verschiedenen Bestandteil an Bindegewebe und zeigen vielleicht etwas verschiedenes Wachstum und verschiedene Zerfallsgeschwindigkeit. Das markige Karzinom zerfällt frühzeitig, das skirrhöse bleibt derb. Ob es zur Metastasenbildung und zum ausgebreiteten Tiefenwachstum kommt, hängt davon ab, welche Tendenz das Karzinom besitzt, d. h. ob es zur Tumorbildung oder zur Kraterbildung neigt. Die äußere Form des Karzinoms geht bis zum gewissen Grade der inneren Form parallel, insofern die Tumorbildung der exophytischen Ausbreitung entspricht, während die Kraterbildung das gewöhnliche Bild des endophytischen Karzinoms ist. Selbstverständlich weist jedes exophytische Karcinom auch endophytische Eigenschaften auf, so daß man auch exo-endophytische Karzinome unterscheiden kann. Schottländer hat unter seinen 123 Fällen 66,7 % endophytische, 5,8 % exophytische und 27,5 % endo-exophytische Karzinome gezählt.

Die äußere Form des Karzinoms bedeutet weder für den Operateur noch für den Strahlentherapeuten im allgemeinen etwas Besonderes. Trotzdem ist die Kenntnis der Wachstumsrichtung und auch das äußere Bild nicht ganz gleichgültig. Exophytische Tumorbildung besagt im allgemeinen, daß die Ausbreitung nach der Umgebung sich langsam vollzieht. Der endophytische Krater ist dagegen in der Regel infiziert und es kommt leichter zur Ausbreitung sowohl des Karzinoms wie der Infektion auf die Parametrien. Wenn auch zahlreiche Ausnahmen von dieser Regel vorkommen, so gestattet sie doch bis zu einem gewissen Grade die Prognosestellung (Pinch). Dem Radiotherapeuten dient der Krater oft zur Aufnahme der Radiumpräparate, indessen er den Tumor bisweilen abtragen muß, um den Zervikalkanal freizulegen. Zu beachten ist aber stets, daß der Krater im allgemeinen nicht in den Zervikalkanal übergeht, sondern nur einer Muttermundslippe ent-

spricht. Will man also den Zervikalkanal bei einem karzinomatösen Krater feststellen, so muß man seinen Eingang an der Peripherie des Kraters suchen. Er liegt nach vorne, wenn der Krater der hinteren Muttermundslippe angehört, und er liegt nach hinten, wenn der Zerfallstrichter im Bereich der vorderen Muttermundslippe liegt.

Was die **„innere" Form** des Karzinoms betrifft, so berühren wir hiermit Fragen der Ätiologie. Bezüglich der Einzelheiten in dieser Hinsicht muß ich auf meinen oben erwähnten Beitrag verweisen. In kurzen Worten aber darf ich hervorheben, daß meines Erachtens das Wesen der karzinomatösen Bildung darin beruht, daß die Beziehungen von Zelle zu Zelle eine Änderung erfahren, daß der innere Aufbau, die Organisation des epithelialen Verbandes verlorengehen muß, wenn das asoziale und schrankenlose Wachstum des Karzinoms erfolgen soll. Voll erhaltene innere Organisation bedeutet also: Aufrechterhaltung des sozialen Zellverbandes, Verlust derselben: Möglichkeit und Beginn der karzinomatösen Wucherungen. Selbstverständlich wird der innere Bauplan des Epithels nicht „von sich aus" in Ordnung gehalten, sondern es spricht der Einfluß des Gesamtorganismus mit. Konstitutionelle Verschiedenheiten, hereditäre Dispositionen, erworbene Erkrankungen, Infektion und vieles andere spielen eine Rolle. Bei Desorganisation der Epithelverbände kann es zur Bildung neuer Zellrassen kommen, welche im Mikroskop gelegentlich leicht erkannt werden können. Nicht selten ist es, daß sog. ortsunterwertige Eigenschaften auftauchen. Im Genitalkanal besitzt z. B. das Epithel des ehemaligen Müllerschen Ganges (Uterus, Zervix und ein Teil der Vagina) zweifellos außerordentliche Differenzierungspotenzen. Eine ganz gewöhnliche Erscheinung ist es deshalb, daß Zylinderzellenkarzinome des Genitale Plattenepithel bilden, und daß Plattenepithelkarzinome, welche keine Verhornung bisher aufwiesen, mit einemmal Hornperlen bilden.

Der veränderte Bauplan als Einteilungsprinzip für das Kollumkarzinom, von Schottländer und Kermauner erstmalig aufgestellt, ist inzwischen von Frankl, Adler und mir übernommen worden. Er kommt weitgehend den biologischen Verhältnissen des Karzinoms entgegen und hat uns in mancher Beziehung schon zu wertvollen Resultaten verholfen. Man unterscheidet danach die Karzinome in primär solide und in sekundär solide Karzinome, weil, wie schon erwähnt wurde, auch primär drüsige Karzinome sekundär solid werden können. Die Übersicht, welche sich auf diese Weise von den Kollumkarzinomen ergibt, ist folgende:

1. Primär solide Plattenepithelkarzinome.
   a) Unreife Plattenepithelkarzinome;
   b) mittelreife Plattenepithelkarzinome;
   c) reife Plattenepithelkarzinome.
2. Drüsige Karzinome.
   a) Hochdifferenzierte Karzinome (Adenokarzinome);
   b) sekundär solide Karzinome.

Auf Einzelheiten der histologischen Struktur soll nicht weiter eingegangen werden, nur will ich betonen, daß die ausgereiften Plattenepithelkarzinome oft eine ganz überraschende Ähnlichkeit im Aufbau mit dem normalen Plattenepithel der Haut besitzen, daß die mittelreifen Plattenepithelkarzinome ebenfalls wohlgeordnet übereinander die Schichten der Epithelien erkennen lassen (ohne daß Verhornung auftritt) und daß die unreifen Karzinome wie durcheinandergestreut die rundlichen und oft chromatinreichen Kerne der Matrix aufweisen; ihr besonderes Kennzeichen ist die außerordentliche Polymorphie der einzelnen Elemente. Das sekundär solide Karzinom ist manchmal kaum vom primär soliden zu unterscheiden. Man findet erst nach langem Suchen ein paar Stellen, wo man die Drüsenimitation mit Sicherheit nachweisen kann. Das hoch-

differenzierte Kollumkarzinom, auch als Adenoma malignum bezeichnet, macht für die Diagnose erhebliche Schwierigkeiten, weil im Zellaufbau kaum eine Veränderung gegenüber den normalen Epithelien zu finden ist und nur der Nachweis des destruktiven Wachstums schließlich die Diagnose sicherstellt.

Die **Ausbreitung** der genannten Karzinome geschieht bald quer durch das Gewebe (plexiform), bald lymphatisch, bald in breiten Zügen, bald in schmalen Sprossen, ohne daß wir mit Sicherheit sagen könnten, auf welchen Eigentümlichkeiten des karzinomatösen Gewebes oder des sich wehrenden Organismus dies beruht.

Nach der Richtung der Ausbreitung unterscheidet man außer dem örtlichen Tiefenwachstum eine Weiterverbreitung nach der Scheide und nach den Parametrien. Vom parametranen Bindegewebe kommt besonders das seitlich vom Uterus gelegene Gewebe, aber auch das in der Richtung nach der Blase oder dem Rektum befindliche in Frage.

Die Vagina erkrankt nach Schottländer und Kermauner in etwa 45% der Fälle, doch hängt das ganz davon ab, ob das Karzinom exo- oder endophytisch ist und wie lange es bereits bestanden hat. Was für uns am wichtigsten ist, ist die Tatsache, daß Metastasen im Scheidenrohr durch retrograde Verschleppung von Geschwulstteilchen im Lymphstrom der Vaginalwände entstehen können. Wir haben sie besonders häufig auftreten sehen, wenn nach der Radiumbestrahlung oder durch die Infektion bei endophytisch wachsenden Karzinomen leichte Exsudatbildung in den Parametrien auftrat. Es würde das mit der Auffassung Krömers übereinstimmen, daß eine leichte Kompression der Lymphgefäße seitlich des Collum uteri genügt, um den Lymphstrom umzukehren und ihn, statt durch die Parametrien, durch das paravaginale Bindegewebe zu leiten. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, daß Henkel von 110 postoperativen Rezidiven 70mal die tiefgelegenen Abschnitte der Vagina als Ausgangspunkt fand.

Was es bedeutet, daß so häufig das Kollumkarzinom nach der Vagina metastasiert, ist für den Operateur und Strahlentherapeuten ohne weiteres klar. Es würde sich schwer im Erfolg rächen, wenn der eine oder der andere dieser Tatsache bei seiner Behandlung nicht volle Rechnung tragen würde.

Die Parametrien sind, soweit es die seitlich vom Collum uteri gelegenen Abschnitte betrifft, sehr oft vom Karzinom befallen. So konnten Schottländer und Kermauner nachweisen, daß in 75% ihrer Fälle, obwohl es sich um operable Karzinome gehandelt hatte, das Parametrium bereits von dem Neoplasma erreicht war. Selbstverständlich gründet sich diese Feststellung auf mikroskopische Untersuchungen, denn daß besonders dem endophytisch wachsenden Karzinom eine eitrige Reaktion im Parametrium voranzugehen pflegt, ist schon dadurch bekannt, daß klinisch-palpatorisch die Feststellung über die wirkliche Ausbreitung des Karzinoms oft nicht möglich ist. Wie häufig das Lig. sacro-uterinum beteiligt ist, konnte nicht genau festgestellt werden. Schottländer und Kermauner fanden daselbst „relativ selten" Karzinome, Brunet in 14%. Es mag schon hier betont werden, daß die Lymphdrüsen in den Parametrien karzinomatös erkrankt gefunden werden können, ohne daß das eigentliche Bindegewebe Sitz der Neubildung ist.

Karzinome der vorderen Muttermundslippe haben eine besondere Wachstumsrichtung nach der Blase und dem Ureter, die Karzinome der hinteren Lippe nach dem Rektum. Besonders die Blase wird von weiter fortgeschrittenen Karzinomen oft in Mitleidenschaft gezogen. Bekannt sind die Untersuchungen von Winter, Kolischer und Zangemeister, welche zystoskopisch folgende Veränderungen, in 3 Gruppen geteilt, an der Blasenwand feststellen konnten.

Gruppe I: Dislokation des Blasenbodens oder einer der Seitenwände, Hyperämie und starke Gefäßentwicklung, Hämorrhagien, Wülste und Falten (meist quer verlaufende, durch tiefe Furchen getrennt).

Gruppe II: Bullöses Ödem und starke Erhebungen eines der Ureterenostien.

Gruppe III: Knötchenbildung, papilläre Wucherungen, Ulkusbildung.

Gruppe I enthält Veränderungen, wo man mit der Operation des Karzinoms noch rechnen kann, obwohl Zangemeister der Auffassung ist, daß die Bildung von Wülsten und Falten bereits ein sehr ominöses Zeichen ist. Symptome der Gruppen II und III schließen die Operation aus.

Der Ureter findet sich von Karzinommassen oft dicht ummauert, trotzdem bleibt seine Schleimhaut gesund und Rezidivbildung vom erkrankten Ureter aus ist sehr selten. Klinisch tritt die Kompression des Ureters durch Stauung des Urins und Hydronephrosenbildung usw. in Erscheinung; auch ist es wertvoll zu wissen, daß etwa 51 % der nichtoperierten Karzinomfälle durch Pyelitis ihren Tod finden (Holzbach).

Auf das Rektum gehen im allgemeinen nur sehr weit fortgeschrittene Karzinome über. Auch hier beobachtet man in der Regel — ähnlich wie beim Ureter —, daß die Schleimhaut freibleibt, wenn schon die Muskulatur des Rektums weitgehend ergriffen ist.

Zum Schluß noch ein Wort über die Mitbeteiligung der Lymphdrüsen. Die Lymphdrüsen werden auf dem Wege des kontinuierlichen Wachstums oder der Metastasenbildung erreicht. Endophytische Karzinome gehen rascher auf die Drüsen über als exophytische, die Inguinaldrüsen werden, selbst wenn retrograde Metastasen auftreten, relativ selten erreicht. Hauptsitz der karzinomatösen Infektion sind die Drüsen des hypogastrischen Dreiecks. Festzuhalten ist, daß in etwa 36% der Fälle die Drüsen, trotz kranker Parametrien, gesund gefunden werden.

Die anatomischen Untersuchungen über die Ausbreitung des Kollumkarzinoms nach der Umgebung stellen also fest, daß weitaus in der Mehrzahl der Fälle mit der Erkrankung des Beckenbindegewebes oder der Lymphdrüsen zu rechnen ist, daß also die Strahlenbehandlung des Karzinoms das Gesamtausbreitungsgebiet erreichen muß. Immerhin aber können die Lymphdrüsen recht lange frei von Krebs bleiben.

Die **Frage der Operabilität** wird in der Regel vom Kliniker nach der Ausbreitung des Karzinoms entschieden. Selbstverständlich spielen noch andere Faktoren eine Rolle, als wie sie in dieser anatomischen Zusammenstellung genannt sind. Allgemeinerkrankungen wie Herz- und Nierenleiden, infektiöse Prozesse und Kachexie, werden in Hinsicht auf die Narkose und den Operationsschock erwogen. Trotzdem gibt letzten Endes die Gruppeneinteilung, wie wir sie Döderlein und Krönig verdanken, den Ausschlag.

Gruppe IV schaltet in der Regel für die Operation prinzipiell aus, höchstens kann es vorkommen, daß, wenn die Frage der Fernmetastasen noch nicht absolut geklärt ist, eine Probelaparotomie vorgenommen wird, doch kann dies nur für besondere Ausnahmefälle gelten.

Bei Gruppe III steht es in der Regel kaum anders. Hier ist die letzte Zuflucht der Probeschnitt, der über die wirkliche oder vermutete Ausdehnung der Neubildung entscheidet.

Gruppe II, auch als die Gruppe der Grenzfälle bezeichnet, stellt die größten Anforderungen an die Entscheidung des Klinikers. Das Karzinom ist in der Regel weit fortgeschritten und der Eingriff entsprechend groß. Ist das Allgemeinbefinden nicht einwandfrei, so resultiert eine primäre Mortalität, die auch heute noch 20—30% beträgt. Es kommt hinzu, daß es sich um endophytische und infizierte Fälle handeln

kann, bei denen mit der lokalen Infektion und der allgemeinen Peritonitis gerechnet werden muß.

So bleibt nur die Gruppe I übrig, wo der Operateur sich leichten Herzens zum Eingriff entschließen darf, weil er mit einer gewissen Sicherheit die Prognose beurteilen kann. Leider sind die Fälle der Gruppe I trotz der Aufklärung, wie sie Winter in größtem Maßstab versucht hat, noch relativ sehr seltene Gäste in unseren Kliniken (ca. 20%). Eine Gesamtoperabilitätsziffer von 65% (Gruppe I und II) ist schon als hoch zu bezeichnen.

Immer und immer wieder hat der Operateur, im Vertrauen auf sein Können und angesichts der trostlosen Lage, in der sich Karzinomkranke befinden, versucht, die Operabilitätsziffer in die Höhe zu schrauben. Der Erfolg war fast überall gleich: es stieg die primäre Mortalität, ohne daß die Dauerheilung wesentlich größere Zahlen aufwies. In neuerer Zeit hört man fast überall, daß der Prozentsatz der operablen Fälle zurückgegangen ist (München ca. 42%), weil mehr Fälle auch desolater Natur den Kliniken überwiesen werden. Steckt man die Grenzen in bezug auf die Operation noch so weit, so scheint heute doch kaum mehr als eine Operabilitätsziffer von 50% das Resultat zu sein. Damit ist natürlich schon ein gewichtiges Wort für die zweite Frage, die uns hier beschäftigen soll, gesprochen, Operieren oder Bestrahlen?

Zweites Kapitel.

Operieren oder Bestrahlen?

Die Frage Operieren oder Bestrahlen zieht sich seit 1913 wie ein roter Faden durch die Literatur. Damals sind es Krönig und Gauß gewesen, welche sich auf Grund sehr schlechter Erfahrungen von der Operation des Kollumkarzinoms abgewendet haben und zur Strahlentherapie übergingen. 5.85% Heilungen nach 5, nach 10 Jahren 0%, so lautete das Krönigsche Fazit der Arbeit von 1904—1911. Zwar hat Krönig nicht immer ein so schlechtes Resultat gehabt, wie er es von Freiburg mitteilen mußte, aber dieses ihn selbst erschütternde Ergebnis ließ ihn unbedingt nach neuen Wegen für die Behandlung des Uteruskarzinoms suchen. Für seinen Entschluß, zur Bestrahlung überzugehen, waren, das mag nochmals betont werden, die besonderen Freiburger Verhältnisse maßgebend.

Für uns besteht heute deshalb die Frage: Wie ist der Krönigsche Entschluß zu bewerten und wie steht es mit seiner Gültigkeit für die Allgemeinheit?

Selbstverständlich besitzt die **Höhe des zahlenmäßig erfaßbaren Heilerfolges** immer wieder eine ausschlaggebende Wichtigkeit in der schicksalsschweren Entscheidung Operieren oder Bestrahlen. Trotzdem braucht man die erzielten Resultate nicht nur nach den absoluten Werten zu beurteilen, sondern kann sie nach den verschiedensten Richtungen hin bewerten. Warnekros sagt in seinem Referat, daß der „Maßstab unseres Könnens hier und wie überall in der Medizin der klinische Erfolg, d. h. die dauernde Heilung sei". Es ist also nicht der Erfolg schlechtweg, das Primärresultat, welches nach Warnekros erstrebenswert erscheint, sondern die dauernde Befreiung von dem Leiden. Ich selbst hatte bei der ersten Durchsicht unseres Karzinommaterials den Eindruck gewonnen, daß die (Radium-) Bestrahlung mit 48stündiger Dauersitzung bei 4—5maliger Wiederholung zwar einen riesigen Eingriff für die Frauen darstellte, daß damit aber — falls er überstanden würde — eine gewisse Sicherheit für eine Dauerheilung gegeben ist. Etwas ganz Ähnliches gilt

übrigens für die Operation und die Primärmortalität (s. die Lebensdauer der Karzinomkranken auf S. 541).

Zweifellos können noch andere Gesichtspunkte als wie die der Dauerheilung maßgebend sein. So kann der **Früherfolg**, der ohne wesentliche Beschwerden und ohne den Kranken aus seinem Berufe zu entfernen erreicht wird, als erstrebenswert betrachtet werden. Die **Schmerz- und Blutstillung**, die **Vermeidung tiefgreifender Schäden**, die **Ersparung der Operation** und des **Krankenhausaufenthaltes** können weiterhin in den Vordergrund treten (Duncan).

Man kann also in der Frage Operieren oder Bestrahlen ein **quantitativ-statistisches** und ein **qualitatives Problem** unterscheiden. Das quantitativ-statistische Problem bestände danach in der Feststellung des absoluten Heilerfolges, das qualitative in der Bewertung des Heilablaufes (Flateau).

Nimmt man auf Grund dieser Ausführungen an, daß die Frage Operieren oder Bestrahlen nur aus den Erfahrungen der Praxis zu beantworten sei, so darf dem entgegengehalten werden, daß auch die Wissenschaft ein Wort mitzureden hat. Es ist notwendig, daß wir wissen oder erforschen, wo und wie die Strahlenenergie in den Spontanheilungsprozeß eingreift oder ihn in Gang bringt. Es muß festgestellt werden, ob die jeweiligen Erfolge Zufälle sind oder besonderen Glücksumständen ihr Eintreten zu verdanken ist. Auf dieser Basis erst gelingt es eine Vorstellung zu gewinnen, ob die Erfolge verbesserungsfähig sind oder nicht. Endlich ist die Frage der Strahlenschädigungen genau zu prüfen und in Vergleich zu setzen mit der geübten Technik. Die Auswahl der Fälle, ihr makroskopisches und mikroskopisches Verhalten, die Komplikation mit Myom und Schwangerschaft spielen noch eine besondere Rolle.

Aus der Lösung aller dieser Fragen entwickelt sich endlich ein Schema, das wir kurz als eine spezielle Indikation bezeichnen können. Es scheint, als wenn gerade in dieser Richtung die Lösung des gesamten hier angeschnittenen Fragenkomplexes zu suchen sei (Lazarus). Die Frage Operieren oder Bestrahlen darf dann allerdings nicht in dieser Allgemeinheit gestellt werden oder sie kann — falls sie gestellt wird — nur eine ganz allgemeine Beantwortung erfahren. Will man zu einem wirklichen Ziel und Abschluß kommen, so müssen wir die Fälle ihrem Wesen nach unterscheiden bzw. das biologische Verhalten der Karzinome dem Körper gegenüber als Grundlage wählen und darauf aufbauend die Indikation zur Operation oder Bestrahlung oder zur kombinierten Behandlung usw. stellen.

1. Die quantitative Seite der Frage.

Als geheilt betrachtet man (nach Winter) diejenigen Fälle, welche 5 Jahre nach abgeschlossener Behandlung noch frei von einem Rezidiv gefunden werden. Wir wissen heute, daß Rezidivfreiheit noch keine Dauerheilung bedeutet, weil Rückfälle nach 10 und 15 Jahren noch vorkommen können. Trotzdem muß man sagen, daß sich die 5jährige Beobachtungsfrist als Maßstab des Erfolges durchaus bewährt hat, weil, wie eine größere Anzahl von Statistiken zeigt, nach dem 5. Jahre das Rezidiv außerordentlich selten ist (Thaler).

Krönig hatte bei der Sichtung seines Freiburger Operationsmaterials (Freund-Wertheim) festgestellt, daß nach 5 Jahren noch 5,85%, nach 7 Jahren noch 3,4%, nach 10 Jahren 0% Heilungen zu verzeichnen seien. Er ging bei der Berechnung dieser Ziffern von der Gesamtzahl aller zugegangenen (histologisch sicher gestellten) Fälle aus (209) und hat damit die Grundlage einer Statistik geschaffen, welche für die Ent-

scheidung unserer Frage zweifellos gut brauchbar ist. In seiner Jenenser Zeit hat Krönig mit weit besserem Erfolg operiert (Dauerheilungen nach Busse 25,3%), und da an der Technik usw. durch den Übergang nach Freiburg nichts geändert wurde, so ist der allein mögliche Schluß der, daß das Freiburger Material sehr viel mehr schwerere Fälle enthielt als das Jenenser. Schon Krönig hat darauf hingewiesen und Opitz hat es neuerdings bestätigt. Es kommen aus der ländlichen Bevölkerung des Schwarzwaldes auffallend viel Spätfälle nach Freiburg, so daß bei einer trotzdem sehr weitgehenden Indikationsstellung die Operabilitätsziffer sehr niedrig wird.

Aus den Krönigschen ersten Bestrahlungsfällen hat Berger eine Dauerheilungsziffer von rund 8% berechnet. Es ist also kein Zweifel, daß für das Freiburger Material die Bestrahlung trotz der Kinderkrankheiten, mit denen sie damals noch belastet war, zu **besseren Resultaten führte als die Operation.**

Betrachtet man nun aber Verhältnisse, welche nicht ganz so schlecht liegen wie die eben geschilderten in Freiburg, so kommt man in größere Verlegenheit, in welcher Richtung die Entscheidung zu suchen ist. So berechnet Döderlein die Heilungsziffer seiner Operationsfälle auf 20,4% und bietet damit eine Zahl, wie sie fast allgemein für den Dauererfolg des operablen Kollumkarzinoms angegeben ist. Die Schwankungen in diesen Ziffern sind nicht allzu groß. Mit an der obersten Grenze steht bekanntlich Franz, der 28% Dauerheilungen mitteilen konnte. Zahlen an der unteren Grenze haben Bumm und Sigwart mit 16% (später 32,3%) und Wertheim mit 18,3% gegeben.

Das Bestrahlungsresultat zeigt nun bei Döderlein nach einer noch nicht ganz abgeschlossenen 5jährigen Beobachtung mit einer absoluten Heilziffer von 19,5% **fast völlige Gleichheit des Erfolges mit der Operation.**

Döderlein (v. Seuffert) war bei seiner statistischen Betrachtung zunächst den gleichen Grundsätzen gefolgt wie Krönig, d. h. er hatte als Basis für seine Berechnungen die Gesamtzahl der zugegangenen Karzinomfälle gewählt. Außerdem hat er sein Material aber in Gruppen eingeteilt und die Heilresultate für die operablen und nichtoperablen Fälle getrennt voneinander aufgestellt. Die aussichtslosen Fälle wurden bei der ersten Statistik (absolute Heilziffer) mitgezählt, bei der zweiten Aufstellung unberücksichtigt gelassen. Dabei ergab sich, daß von den operablen Fällen (Gruppe I und II) etwa 30% durch die Bestrahlung geheilt worden waren (von Gruppe I sogar 42,5%), daß von den inoperablen Fällen 14,3% Heilungen erzielt wurden. Damit war die Beurteilung des Erfolges nach den anatomischen Gruppen zum ersten Male entscheidend in den Vordergrund getreten. Mit aller Deutlichkeit wurde klar, daß die **Strahlenbehandlung der inoperablen Fälle beträchtliche Erfolge** versprach.

Das Döderleinsche Resultat erfuhr von allen Seiten Bestätigung. Giesecke, aus der Stöckelschen Klinik in Kiel, teilte 10,5%, Kraul aus der Pehamschen Klinik 12,5%, Bumm 14%, Baisch 16,5%, Kehrer 22% und Weinbrenner 33% Dauerheilungen mit. Ich habe unter Zusammenziehung von 17 in allen ihren Einzelheiten mitgeteilten Statistiken etwa 2000 Fälle zusammengesucht und 10% Heilungen der inoperablen Fälle für 5 Jahre berechnet[1]). Die Schwankungen sind dabei sehr erheblich gewesen (0—33%), was wohl auf die Technik der Bestrahlung zurückzuführen ist.

---

[1]) Statistiken von Baisch, Bumm, Döderlein, Eckelt, Hüssy, Dietrich, Adler, Kupferberg, Schweitzer, Heymann, Seitz, Wintz, Sippel, Weinbrenner, Kehrer, v. Seuffert und Giesecke.

Die Frage, wie man inoperable Fälle in Zukunft behandeln soll, steht nach dem Ergebnis dieser Untersuchungen bereits fest. Es kommt auf keinen Fall (primär!) eine forcierte Operation, sondern nur die Bestrahlung in Frage. (Operation vorbestrahlter Fälle scheidet hier aus.)

Offensichtlich bleibt nach dieser Feststellung nur noch die gleiche Entscheidung für die operablen Fälle übrig. In Wirklichkeit aber kompliziert sich gerade hier die Frage in unerwarteter Weise.

Untersuchen wir zunächst, welche Resultate die Operation bei den operablen Fällen aufzuweisen hat, so finden wir, daß die Werte, welche hier bekanntgeworden sind, innerhalb weiter Grenzen differieren, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Gesamtzahl der Fälle nicht allzu groß, die möglichen Fehler der Statistik deshalb um so bedeutender sind. Döderlein rechnet mit der Operation auf etwa 32,3% Heilungen, wobei die Gruppe I mit mehr als 40%, die Gruppe II mit nur etwa 12% beteiligt ist; Bumm-Schäfer geben 41,8% an, Wertheim 42,2%, Zweifel 45%, v. Franqué 48%.

Ich will nicht darauf eingehen, ob diese Zahlen ganz den strengen Forderungen gerecht werden, welche Winter an die Statistik gestellt hat. Es muß genügen, wenn Operateure, welche mit Interesse ihr Material verfolgen, angeben, daß sie 30—50% Dauerheilungen des Kollumkarzinoms aufzuweisen haben.

Die Strahlenbehandlung kann diesen Beobachtungen nur zum Teil ähnliche Zahlen gegenübersetzen, weil die Technik der Bestrahlung dauernd gewechselt hat und für eine bestimmte Technik noch kaum abgeschlossene Zahlenwerte vorliegen. Immerhin konnte Döderlein schon 1920 für die operablen Fälle über 31% Dauerheilungen berichten. Baisch gibt eine Zahl von 28,5%, Kehrer von 45,4% an. Aus der von mir zusammengestellten Statistik von 2000 Fällen der Literatur ergibt sich eine Dauerheilungsziffer von 20,5%. Die Zahl ist auffallend klein, enthält aber natürlich alle Vor- und Nachteile, welche von Anfang an in der Strahlenbehandlung geherrscht haben. Zu sehr viel besseren Zahlen kommt man, wenn einwandfreie Technik, vollständig durchgeführtes Bestrahlungsschema und größere Erfahrungen berücksichtigt werden. So rechnet Kehrer mit 45,4%, Dietrich (Göttingen) mit 55%, Opitz mit 60% und Döderlein gar mit 72% Heilungen. Trotzdem ist es kein Zweifel, daß die Strahlenbehandlung des operablen Kollumkarzinoms noch nicht durchweg einen Erfolg aufzuweisen hat, wie er durch die Operation erzielt werden kann. Selbstverständlich gilt auch für die Röntgen- und Radiumbestrahlungen, was Stöckel von der Operation sagt, „wenn man die Technik nicht hat, hat man schlechte Resultate".

Für die Bewertung der Gesamtfrage Operieren oder Bestrahlen können wir also sagen: Bei den inoperablen Fällen ist eine starke Überlegenheit der Strahlenbehandlung vorhanden, bei den operablen Fällen kann die Gleichberechtigung angenommen werden. In Zahlen ausgedrückt würde das heißen, es ist festzustellen, wie sich die **Gesamtzahl** der Heilungen, berechnet auf die Zahl der gesamten Zugänge, verhält (absolute Heilungsziffer!). Für die Operation haben wir eine Zahl von 20,5% feststellen können, für die Bestrahlung kommen nach unserer großen Statistik 20% in Frage. Daraus würde sich ergeben, daß **Operation und Strahlenbehandlung als völlig gleichwertige Methoden nebeneinanderzustellen sind.**

Vergleicht man mit diesem Resultat unsere obigen Feststellungen (wonach die Operation der Bestrahlung überlegen schien), so sieht man, wohin die Statistik führen kann. Der Einwand, daß die chirurgische Tätigkeit des Gynäkologen in dieser Statistik allzusehr mit der großen Zahl derjenigen Frauen belastet wird, welche gar nicht

von ihm behandelt werden können und behandelt worden sind, liegt nahe (Menge). Chirurgisch behandlungsfähig sind nur die operablen Karzinome, bestrahlungsfähig können alle Karzinome sein, einschließlich selbst der aussichtslosesten Fälle. Für die Operation haben wir aber eine Heilungsziffer von rund 50% festgestellt, während von allen bestrahlten Fällen nur 20% geheilt werden.

Auch diese Art der Zusammenstellung gibt unbedingt ein schiefes Bild, denn der chirurgischen Therapie liegen nur die operablen Fälle, also die prognostisch günstigen, zugrunde, die Aktinotherapie aber muß mit allen zugegangenen Fällen rechnen. Es ist leider nicht möglich gewesen, aus dem vorhandenen Zahlenmaterial diejenigen Fälle vom Konto der Strahlentherapie abzuziehen, welche als gänzlich aussichtslos anzusprechen sind, weil in der Mehrzahl der Statistiken nur 3 Gruppen unterschieden werden und in der dritten Gruppe sich auch alle diejenigen Fälle befinden, welche kaum eine Aussicht auf Erfolg mehr boten. Nur Döderlein hat die absolut aussichtslosen Fälle besonders unterschieden. Zieht man sie von seinem mitgeteilten Material ab, so ergibt sich ein Mittelwert der Heilungen von 20,8% für die Gesamtzahl der bestrahlten Fälle. Dieser Mittelwert erhebt sich kaum über den der allgemeinen Statistik, woraus hervorgeht, daß auch hier, trotz des Abzuges der gänzlich aussichtslosen Fälle, noch eine enorme Belastung durch die prognostisch sehr ungünstigen, wenn auch nicht aussichtslosen Fälle vorliegt.

Es bleibt uns zuletzt deshalb nichts anderes übrig, als einen Vergleich zwischen den prognostisch genau gleichmäßig zu beurteilenden Fällen zu ziehen. Leider ist auch das zum Teil nicht möglich, weil die Unterscheidung der Fälle in den Statistiken nicht scharf genug oder das Material zu klein ist. Vor allem lassen in dieser Beziehung die Operationsstatistiken im Stich. Nur ganz allgemein kann man sagen, daß sowohl bei der Operation wie bei der aktinischen Therapie die doppelte bis dreifache Heilung in Gruppe I erreicht wird wie in Gruppe II und daß die Strahlenbehandlung bei geeigneter Technik eine Unterlegenheit nicht erkennen läßt. Baisch z. B. und ebenso Recazens ziehen für beginnende Karzinome unbedingt die Strahlenbehandlung vor und weisen auf 100% Erfolge hin; ähnlich E. Kehrer.

Obwohl wir nach diesen Zusammenstellungen fast die Unmöglichkeit zugeben müssen, auf Grund der Statistik eine auch nur allgemeine Beantwortung der Frage Operieren oder Bestrahlen zu geben, dürfen wir auf Grund des vorhandenen Zahlenmaterials doch sagen, **daß die Operation und die Bestrahlung, wenn sie in geeigneten Händen ruhen, als gleichwertige Methoden nebeneinandergestellt werden dürfen.**

2. Die qualitative Seite der Frage.

Als qualitative Seite der Frage Operieren oder Bestrahlen wollten wir die Art des Heilverlaufes betrachten.

a) Lebensverlängerung. Es ist wiederum Krönig gewesen, der zum ersten Male das Augenmerk auf den späteren Verlauf der behandelten Fälle gelenkt hat und damit der Statistik gewissermaßen das starre Wesen der nackten Zahlen genommen hat. Krönig ließ bei seinem Freiburger Material zunächst die Lebensdauer der Fälle verfolgen, und zwar getrennt vom Beginn der ersten Symptome bis zum Klinikaufenthalt und von da bis zum Tode. Unter dem Einfluß der hohen primären Operationsmortalität haben die operierten Frauen im Durchschnitt kein längeres Leben aufzuweisen als die nichtoperierten. Alle Karzinome besitzen durchschnittlich eine Lebensdauer von insgesamt 85 Wochen, d. h. vom ersten Beginn der Erscheinungen bis zum Tode vergingen noch nicht ganz 2 Jahre. Die Operabilitätsgrenze wird etwa

29 Wochen nach Beginn der Erkrankung (= 7 Monate) erreicht. Am Ende des ersten Jahres waren nahezu alle Fälle inoperabel. Nach der Aufnahme in die Klinik leben die operablen Fälle im Durchschnitt noch 56 Wochen, die nichtoperierten noch 32 Wochen. Die überlebende Kranke hat nach der Operation etwa 5% Wahrscheinlichkeit, am Ende des 4. Jahres noch zu leben, für die nichtoperierte eröffnet sich eine solche Aussicht überhaupt nicht.

Es ist natürlich schwer, in allgemeinen Worten eine solche Statistik aufzustellen. Immerhin ist es interessant, daß durch diese Untersuchungen eine gewisse Konstanz der Wachstumsgeschwindigkeit aller Karzinome festgestellt werden konnte, welche darin zum Ausdruck kommt, daß vom Beginn der ersten Symptome bis zum Tode stets annähernd die gleiche Zeit verstreicht. Doch muß betont werden, daß die Krönigschen Zahlen — von Müller publiziert — nur für die Freiburger Verhältnisse gelten. Nachprüfungen, die inzwischen von Siegel und Kraul gemacht worden sind, kommen zum Teil zu etwas anderen Resultaten.

Siegel findet, daß die operierten Fälle von der Klinikaufnahme an noch ca. 141 Wochen (= $2^3/_4$ Jahre) zu leben haben, indessen die nichtoperablen Fälle eine Lebensdauer von 117 Wochen (= $2^1/_4$ Jahr) aufweisen. Auch hier ist also ein Gewinn durch die Operation von nur etwa einem halben Jahre zu verzeichnen. Der Vorteil der Operation liegt darin, daß 5 Jahre nach dem Behandlungsbeginn von den Operierten noch 24%, von den Nichtoperierten nur noch 13% leben.

Kraul findet bei dem Wiener Material eine durchschnittliche Lebensdauer der nichtbehandelten Karzinome von Beginn der ersten Symptome bis zum Tode von 34 Wochen (= 9 Monate), bei Operierten eine solche von 96 Wochen (= $1^1/_2$ Jahr), bei Bestrahlten (Bestrahlung wurde nur bei den inoperablen und aussichtslosen Fällen vorgenommen) von 60 Wochen. Danach ist der Einfluß der Operation und auch der Bestrahlung deutlich und bemerkenswert. Im übrigen würde sich die Bösartigkeit des Freiburger Krebses sowohl gegenüber dem Wiener wie dem Gießener Material eindrucksvoll hervorheben.

Außer der Lebensdauer sind verfolgt worden die Rezidivbildung nach Operation und Bestrahlung, die Metastasierung in ferngelegene Organe, die Möglichkeit der lokalen und allgemeinen Schädigungen (Verbrennung, Fisteln, Blutbild, Kachexie), die Besserung der Operabilitätsziffer durch die Bestrahlung, die Behebung der Schmerzen, die Behandlungsfähigkeit der Rezidive u. a. m. Nur in Stichworten kann auf die angeschnittenen Fragen eingegangen werden.

b) Rezidivbildung. Es ist nicht leicht, das Rezidiv einwandfrei festzustellen oder auszuschließen. „Gesundheit" als solche, „völliges Wohlbefinden", selbst erhebliche Gewichtszunahme und objektiv nachweisbare Rekonstruktion der vorher zerfallenen Portio (Bumm) schließen das Rezidiv nicht aus, wie anderseits fühlbare Veränderungen in den Parametrien in Form von Strängen, Verdichtungen, Knotenbildungen usw. das Rezidiv nicht sicher stellen. Selbst abnehmendes Gewicht und Kachexie sprechen nicht eindeutig für den Rückfall. So ist die Frage, ob und wann ein Rezidiv eingetreten ist, nicht ganz leicht einwandfrei zu beantworten. Letzten Endes bleibt doch nur als Kontrolle die länger andauernde Beobachtung, so daß auch aus diesem Grunde eine Statistik, welche sich auf zu kurze Zeiträume erstreckt, abgelehnt werden muß. Heymann hat es seinerzeit zuerst ausgesprochen, daß ein Rezidiv nach einer seit einem Jahre eingetretenen Heilung kaum noch zu erwarten sei und zu den Ausnahmen gerechnet werden müsse. Er hält auch heute noch mehr oder weniger an dieser Auffassung fest, obwohl ihm Bumm auf Grund seiner eigenen Beobachtungen entschieden widersprochen hat und auch Wintz eine solche Annahme für „etwas zu vor-

eilig" hält. Seitz wiederum möchte trotzdem eine vorläufige Statistik (Beobachtung 2—3 Jahre) empfehlen und glaubt, daß die spätere Beobachtung nicht mehr allzuviel an den Primärerfolgen ändern würde. Weshalb ein solcher Standpunkt seine Bedenken hat, ist schon oben auseinandergesetzt worden. Die Diagnose des Rezidivs ist gar zu schwer, und je länger wir die bestrahlten Fälle nachbeobachten konnten, desto mehr stellt sich heraus, daß die Zahl der Dauerheilungen bis zum 5. Jahre noch erheblich abfällt. Dann allerdings scheint eine recht beachtliche Konstanz der Heilziffern einzutreten.

c) Metastasenbildung nach ferngelegenen Organen. Von Prochownik und Adler zum ersten Male in die Diskussion geworfen, ist die Auffassung, daß die bestrahlten Fälle bei der Rezidivierung besonders häufig zur Aussaat von Fernmetastasen neigten, fast Allgemeingut geworden. Wertheimer ist dieser Frage am Material der Frankfurter Frauenklinik (unter Walthard) eingehend nachgegangen und konnte feststellen:

a) daß bei nichtbestrahlten Fällen Metastasen in ca. 54% auftreten — die Zahl stimmt gut mit den Literaturangaben überein (Mittelwert 55,7%);

b) daß bei bestrahlten Fällen in 48,2% Metastasen vorhanden sind, welche sich auf nah- und ferngelegene Gebiete verteilen.

Danach beurteilt, würden die bestrahlten Fälle im ganzen also besser dastehen als die nichtbestrahlten Fälle. Vergleicht man aber nun die Bildung der Fernmetastasen miteinander, so ergibt sich:

c) daß die bronchialen, trachealen und subklavikularen Drüsen bei unbestrahlten Fällen häufiger befallen waren als bei bestrahlten (14% zu 3,7%);

d) daß von den befallenen Organen nur die Leber eine auffallende und stark betonte Sonderstellung einnimmt. Während bei der Lunge, der Milz, der Niere, den Nebennieren und den Knochen das Verhältnis der Metastasen bei bestrahlten und unbestrahlten Fällen nur 2 : 3 betrug, fand sich bei der Leber ein Verhältnis von fast 2 : 1.

Aus diesen Beobachtungen, welche Wertheimer übrigens auch nach der Richtung hin ergänzte, daß bei jugendlichen Personen der Krebs eine starke Proliferationsfähigkeit aufweist, geht hervor, daß im allgemeinen die bestrahlten Fälle in bezug auf die Fernmetastasen nicht ungünstiger dastehen als die nichtbestrahlten, daß aber Lebermetastasen mit einer gewissen Häufigkeit zur Beobachtung kommen.

d) Die Möglichkeit der lokalen und allgemeinen Schädigungen. Hier steht die Operationsbehandlung der Strahlentherapie kaum nach. Schon die hohe Zahl der Todesfälle bei der Operation weist darauf hin. Zwar ist die Mortalität der bestrahlten Fälle entgegen einer oft gehörten Anschauung nicht Null, aber bei geeigneter Technik und Auswahl der Fälle ist sie im ganzen doch recht gering. Dafür kommen aber auf das Konto der Strahlenbehandlung die Schädigungen, über welche auf Seite 589 genauer berichtet ist, und auf das Konto der Operation die zahlreichen Nebenverletzungen, welche immer möglich sind. Die operativen Schädigungen sind allerdings in der bisweilen sehr hohen primären Mortalitätsziffer enthalten (bis zu 35%), die Strahlenschädigungen dagegen entwickeln sich schleichend. Dadurch können sie, besonders wenn man die lange Dauer der Hautschädigungen und die Unzuträglichkeiten der Fisteln bedenkt, zu einer rechten Crux medicorum werden. In neuester Zeit hat Belugin über die Beeinflussung der Sterblichkeit durch im Becken befindliche Eiterherde bei der Radiumbestrahlung berichtet und unter 600 Fällen doch über nahezu 4% Mortalität durch eitrige Prozesse im Becken oder im Peritoneum berichtet. Er führt derartige Krankheiten auf eine aktive Strahlenwirkung zurück.

e) Entscheidend zugunsten der Bestrahlung spricht die **Besserung der Operabilitätsziffer.** Zwar bestehen darüber keine Statistiken. Doch haben eine große Anzahl von Autoren (Bumm, Baisch, A. Meyer, Schmieden, Fletscher, Shaw) von der Bedeutung der Vorbestrahlung berichtet. Man kann diese Vorbestrahlung sowohl mit Röntgenstrahlen wie mit Radium ausführen. Es überhäutet das Karzinom, es wird kleiner, die Infektionsgefahr wird geringer, und, wie Schmieden meint, wird auch die Proliferationskraft des Karzinoms geschwächt. Selbst wenn ein Karzinom unter der Vorbestrahlung nicht völlig operabel wird, so besteht nun doch die Möglichkeit zu einer unvollkommenen Operation, womit bei der zweifellos hohen Bedeutung der Nachbestrahlung nach Operation ein beachtlicher Fortschritt erzielt ist.

f) **Schmerzen** sind ein Symptom der Spätfälle oder der Rezidive. Operationen sind in beiden Fällen zwar möglich, besonders beim Rezidiv (Franz, Henkel), aber gefährlich, und die Schmerzen werden nicht selten durch die Operation nicht beeinflußt. Die Bestrahlung greift auch hier als ein sehr wertvolles Hilfsmittel ein und ist nicht selten von einem glänzenden — wenn vielleicht auch vorübergehenden — Erfolg begleitet.

g) **Für die Behandlung schwerer Rezidive,** bei denen, wie gesagt, die Operation sehr oft versagt, stellt die Strahlentherapie die letzte Möglichkeit der Hilfe dar.

Überblickt man das, was wir als **qualitative Seite der Frage** „Operieren oder Bestrahlen" aufgefaßt haben, so ergibt sich eine ganze Reihe von Gesichtspunkten, welche **zugunsten der Bestrahlung sprechen.** Selbstverständlich sind wir über den Heilungsverlauf im Anschluß an die Bestrahlung erst durch die praktische Erfahrung belehrt worden. Im gleichen Bereich — in der Praxis der Strahlenbehandlung — liegt noch eine ganze Reihe von Punkten, welche bei der Frage Operieren oder Bestrahlen bedacht werden müssen. Fieber, welches während der Bestrahlung eintritt (besonders bei der Radiumbestrahlung), das Wegbleiben der Patienten nach der ersten Bestrahlungsserie oder nach einer Teilbestrahlung, die manchmal schwierige Organisation und die Anpassung der Bestrahlungsabteilungen an den klinischen Betrieb, die enormen Aufwendungen an Unkosten und Arbeit und an technischen Fähigkeiten und Fertigkeiten sind hier zu nennen. Wir werden über die meisten dieser Punkte später noch berichten. Es mag aber schon hier betont sein, daß z. B. Fiebersteigerungen häufig auftreten und bisweilen auch die Entfernung des Radiums vorzeitig fordern. Übersteigt aber das Fieber nicht 38,5, so bleibt uns die Möglichkeit der Röntgenbestrahlung als Zusatzbestrahlung noch erhalten. Steigt die Temperatur allerdings höher an, so müssen wir unbedingt mit der Behandlung warten. Oftmals schließt sich an eine Radiumbestrahlung ein langes Krankenlager an, welches in seinem Einfluß auf den anatomischen Prozeß aber ganz verschieden zu bewerten ist. Das Karzinom kann während dieser Zeit stationär bleiben, zurückgehen oder stark wurchern. Es kann sein, daß nach dieser Erkrankung die Weiterbehandlung mit Radium unmöglich wird; die Röntgenbehandlung kann meist, wenn auch erst nach längerer Zeit, unbedenklich durchgeführt werden und ist auch bald nach Abfall des Fiebers möglich, falls keine thrombotischen Prozesse im Becken bestehen. Das sog. Fortbleiben der Patienten ist ein schwierig zu beurteilender Nachteil der Strahlenbehandlung. Fast überall findet man Klagen darüber in der Literatur. Am meisten hat wohl Adler diesen Nachteil hervorgehoben. Es scheint nicht ausgeschlossen, daß die Radiumbehandlung wegen ihrer Schmerzhaftigkeit besonders mit diesem Nachteil belastet ist und daß man in Zukunft sie möglichst schmerzlos durchführen muß. Im übrigen aber mag darauf hingewiesen sein, daß auch hier wie überall die gute Behandlung und die Aufklärung der Frauen

mit am meisten Erfolg verspricht. Selbst die Größe der Bestrahlungsinstitute spielt hierbei vielleicht eine Rolle, weil die individuelle und dauernde Nachkontrolle der zu bestrahlenden Fälle und auch der Erfolg der Behandlung, der zweifellos mit der Zahl der bestrahlenden Personen sinkt, maßgebend für das Verhalten der Frauen ist.

Wegen der Teilbestrahlung, welche man früher wegen der Gefahr der Reizdosierung so ängstlich beurteilte, braucht man heute keine erheblichen Bedenken mehr zu haben. Selbstverständlich ist es nicht zweckmäßig, die Bestrahlung zu verzetteln, aber wirkliche Schädigungen werden durch Teilbestrahlung wohl kaum bewirkt.

Wenn wir in den bisherigen Ausführungen besonders die praktische Seite der Strahlentherapie hervorgehoben haben, so soll zum Schlusse wenigstens noch erwähnt werden, daß auch die wissenschaftliche Seite an dem Problem Operieren oder Bestrahlen mitspricht. Es kommt z. B. in Frage der Angriffspunkt der Strahlen, ob er an den Karzinomzellen, im Bindegewebe oder an den Heilkräften des Gesamtorganismus erfolgt; es kommt in Frage die Biologie des Gewebes, die Höhe der Dosis nach Qualität und Quantität, die Technik der Bestrahlung, die Dosierung nach Zeit und Reizgröße. Über alle diese Punkte müssen wir in unseren späteren Betrachtungen ausführlich sprechen. Es soll hier nur gezeigt werden, daß die Beantwortung der Frage Operieren oder Bestrahlen nicht in zwei Worten erfolgen kann. Wollen wir trotzdem zum Schluß unsere Auffassung in wenigen Sätzen zusammenfassen, so müssen wir sagen:

Es steht fest, daß die Operation und die Bestrahlung bei der Behandlung des Kollumkarzinoms als gleichwertige Methoden aufzufassen sind, so daß wir, wenn irgend angängig, **beide** Methoden, und zwar **prinzipiell** zur Anwendung bringen sollen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Operation nicht mit einer zu hohen primären Mortalität belastet wird.

Wenn es sich um inoperable Fälle handelt, soll **vor**bestrahlt werden, und zwar mit heilkräftiger Dosis. Sollte dadurch die Operation möglich werden, so ist zu operieren. Auf diese evtl. notwendige Operation ist bei der Technik der Strahlenbehandlung zu achten. Sind die Fälle weiterhin inoperabel, so sind sie auch weiterhin zu bestrahlen, weil die Erfolge bei geeigneter Technik und Dosierung durchaus gut sind.

Auch bei der Operation und Bestrahlung ist zu sagen, was schon im anatomischen Teile betont wurde, **Vernichtung des Neoplasmas, Schonung aber des Wundbettes.**

Nicht in der Größe der Operation liegt die Hoffnung auf den Erfolg begründet, sondern in der Entfernung des größeren Anteils vom Krebs überhaupt; was das Messer entfernt hat, braucht der Organismus nicht mehr zu überwinden.

Drittes Kapitel.

Die Radiumbestrahlung.

1. Zur historischen Entwicklung.

Runge gibt, wie die Mehrzahl der deutschen Autoren, in seinem „Praktikum der gynäkologischen Strahlentherapie" an, daß der Amerikaner Abbé die ersten Versuche gemacht habe, das Uteruskarzinom mit Radium zu heilen (1905). Foveau de Courmelles nennt Danlos als den Vater der Radiumtherapie, insofern er die strahlende

Substanz überhaupt zum ersten Male als „Heilmittel" und zwar gegen die Hauttuberkulose verwendet habe (1901). Für sich selbst nimmt er die Priorität in Anspruch, erstmalig tiefliegende Karzinome mit Radium behandelt zu haben (1904).

Wie dem auch sei: Ich habe den Eindruck, daß man Exner das Verdienst zuerkennen muß, die Bedeutung der Radiumstrahlen für die Krebsbehandlung nicht nur erkannt, sondern auch das Problem der Heilwirkung so in Angriff genommen und gefördert zu haben, daß daraus die Praxis der Radiumbehandlung eine verläßliche Unterlage gewinnen konnte. Exner (Sitzungsber. d. kaiserl. Ak. d. Wiss., math.-naturw. Kl., 1903, 112) hat gezeigt, daß

1. eine Beeinflussung des Karzinomgewebes durch die Bestrahlung mit Radiumbromid stets erfolgt,
2. Geschwülste von nicht zu großem Umfang unter Umständen ganz bemerkenswerte Resultate erkennen lassen,
3. die Karzinomzellen unter dem Bilde degenerativer Erscheinungen durch wucherndes Bindegewebe verdrängt („zersprengt") werden.

Exner schließt aus diesen Beobachtungen auf eine große Heilwirkung des Radiums, empfiehlt aber die praktische Anwendung nur für inoperable Fälle.

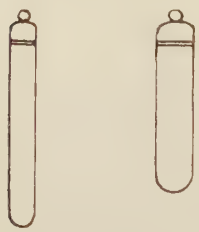


Abb. 1. Dominici-Röhrchen, breite kurze und längere schmale Form.

Im Jahre 1906 erschien eine kleine Arbeit von Schücking (Pyrmont), der bei einer 56jährigen Frau nach Anwendung von 3 mg Radiumbromid den ausgedehnten Zerfall eines inoperablen Zervixkarzinoms beobachtet hatte. Mikroskopisch konnte er am Rande des Zerfallsherdes zahlreiche Mitosen im Karzinomgewebe und schwere Gefäßveränderungen — Sklerosen und Endothelschädigungen — im Bindegewebe feststellen.

Bis 1906 war das Radium ungefiltert in kleinen Hartgummikapseln mit Glimmerfenster verwendet worden, d. h. modern gesprochen: es hatte eine kombinierte Bestrahlung mit β- und γ-Strahlen stattgefunden.

Neu war nunmehr die **„Hartfilterung"**, welche Dominici einführte (1907). Neu war auch die Anwendung **großer Mengen** von Radium (50 mg Radiumbromid), obwohl darauf von Dominici noch kein Wert gelegt wurde.

Das Hartfilter Dominicis bestand aus $^1/_2$ mm Blei oder einer äquivalenten Filterung (s. S. 573) mit Gold oder Silber; zugleich wurden die sekundären Strahlen, welche im Filter entstehen, durch Papier oder Gaze abgefangen. Dominici nannte seine (neue) Strahlung „ultrapenetrierend" und konnte ihre große Wirkung, trotz der durch die Filterung bedingten Intensitätsabnahme auf etwa ein Zwölftel der ursprünglichen Stärke, bald nachweisen.

Die Radiumträger (Röhrchen, Tuben), welche Dominici angab, haben von ihrem Erfinder den Namen bis auf den heutigen Tag behalten; es sind zylindrische, gerade Hohlgefäße von ca. 2.5—3 cm Länge und 0.6—1 cm Dicke. Das Radium wurde, meist in feine Silberhülsen verpackt, in diese Röhrchen hineingeschoben. Verschluß durch ein Schraubengewinde (Abb. 1).

Wickham und Degrais (1908) haben als erste die Dominici-Methode weiter ausgebaut; sie bestrahlten systematisch und waren durch sog. „Filterkontrollen" (bis zu 2 und 3 mm Blei) immer mehr bestrebt, die Strahlung von β-Strahlen zu reinigen. Sie haben als erste die **Kreuzfeuerbestrahlung** ausgeführt.

Große Dosen Radium haben sodann Chéron und Rubens Duval (1910) empfohlen und angewendet. Sie nannten ihre Bestrahlung die „Technik der mas-

siven Dosen" und wiesen darauf hin, daß man um so stärker filtern müsse, je höher die Wertigkeit der Präparate sei. Trotzdem beobachteten sie, was erst die späteren Untersucher wieder genauer kennen lehrten, „Radiumschwielen", d. h. „an die Stelle des Karzinoms traten nach der Bestrahlung derbe Massen", welche sowohl der Diagnose „Heilung" als auch der späteren Allgemeinprognose Schwierigkeiten machten.

In Deutschland war man in der gleichen Zeit (1910) auch lebhaft an der Arbeit. So berichten Czerny, Seligmann und Nahmacher, der erstgenannte auf dem 39. Chirurgenkongreß in Berlin, von ihren Erfahrungen mit Radium. Czerny hatte manchen Erfolg gesehen und wollte Radium weiter verwenden. Seligmann betont die schmerzlindernde Wirkung, sieht darin zugleich aber eine Gefahr, weil durch Zuwarten in dieser Zeit der (klinischen) Remission vielleicht die kostbarste Zeit für die (doch notwendige) Operation verlorengehe. Nahmacher betont — gleich Chéron und Rubens Duval —, daß man hohe Dosen anwenden müsse (10 und 20 mg in zahlreichen Sitzungen) und sieht einen besonderen Vorzug der Bestrahlung in der Kombination mit der Operation (Vor- und Nachbestrahlung). Nahmacher konnte schon über mehr als 100 zum Teil sehr beachtliche Erfahrungen berichten und hat sich auch die histologische Untersuchung seiner Fälle angelegen sein lassen (Schmorl).

Frl. Lourier (Petersburg) hat die neue Methode auch im Tierversuch angewendet. Es ist interessant zu wissen, daß sie trotz eines deutlichen Rückganges der Geschwülste (Nekrose usw.) noch positive Impfresultate bei Übertragung auf gesunde Tiere erhielt. Bekanntlich haben Kaysser, Opitz u. a. in neuester Zeit die gleiche Beobachtung gemacht, wobei nur zu bemerken ist, daß die Methodik der neueren Untersucher der fortgeschrittenen Erkenntnis entsprechend exakter war. Kayser konnte bekanntlich feststellen, daß bisweilen selbst die 2- und 4fache „Karzinomdosis" nicht genügte, um den Impfversuch negativ werden zu lassen.

In einer zweiten Arbeit haben dann Chéron und Rubens Duval Richtlinien für die Behandlung der Zervixkarzinome mit „tief eindringenden Radiumstrahlen" aufgestellt: operable Fälle sollen operiert werden; fortgeschrittene Karzinome soll man entweder allein bestrahlen (Prognose aussichtsvoll) oder operieren und nachbestrahlen; inoperable Fälle sind der Radiumbehandlung unbedingt zuzuweisen. Interessant ist hier wiederum eins: die Autoren behaupten, die Radiumbestrahlung mache die Tumoren keimfrei. Exakt bewiesen wird das nicht; vor allem fehlen auch die Angaben, welche Dosen dafür nötig seien. Ich möchte daran erinnern, daß die neuesten Erfahrungen (Chirurgenkongreß 1924, Heidenhain) davon zu berichten wissen, daß durch Röntgenschwachbestrahlung Keimfreiheit von Wunden, Phlegmonen und Panaritien zu erzielen ist.

Das Bild, das sich etwa um das Jahr 1911 von der neuen Radiumtherapie abzeichnet, läßt schon gewisse Linien erkennen. Ich bin nicht der Meinung Meidners, daß es in Deutschland ziemlich trostlos gewesen sei und daß ein Erfolg von der Radiumbehandlung sich nur bei flachen, oberflächlichen Geschwülsten erwarten lasse. Es ist richtig: in Deutschland — dem doch sicher reichen Lande — klagte man über die hohen Preise der radioaktiven Substanz, und schon damals steht zu lesen: Ja, wenn das Radium nicht so teuer wäre! Nur so ist es meines Erachtens zu erklären, daß z. B. Arendt auf den Gedanken kommen konnte (von Lazarus später sehr energisch abgelehnt), statt mit den Radiumsalzen mit gepulverter Uranpechblende (in Gummihülle gepackt) zu bestrahlen. Arendt hat im übrigen — abgesehen von der Entgleisung, daß „Dosierung nur bei hohen Dosen notwendig sei" — sehr richtig bemerkt, daß die hohen Intensitäten kleiner Präparate zu vermeiden seien und daß statt dessen nur „umfangreiche Flächen" zur Anwendung kommen sollten. Wir werden später sehen, welche

Bedeutung gerade dieses Problem in der Radiumtiefentherapie durch v. Seuffert, Friedrich, Menge, Kehrer-Lähm, Matzdorf u. a. gewonnen hat.

Pinkuss, Littauer, Sticker, Werner, v. Seuffert und Gauß haben dann weiterhin über die Erfolge mit Radium berichtet. Das Kongreßjahr 1913, das von so außerordentlicher Bedeutung für die Radiotherapie (wie man sie schon damals nannte) war, warf seine Schatten voraus. Sticker schuf ein sorgfältig durchgearbeitetes Radiuminstrumentarium, Werner kombinierte auch die Radiumbehandlung mit Borcholin, und v. Seuffert und Gauß wiesen erstmalig auf denLeukozytensturz hin, den die Intensivbestrahlung zur Folge hat.

In aller Erinnerung steht das Kongreßjahr 1913 (Kongreß für Physiotherapie in Berlin, Internationaler medizinischer Kongreß in London) und ganz besonders die Tagung der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie in Halle (Engelhorn). Sie zu charakterisieren ist wohl nichts geeigneter als ein Passus aus der Rede Bumms, welche er als Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie am 26. Mai 1920 bei Eröffnung hielt:

„Wir sind vor 7 Jahren von Halle in einem merkwürdigen Zustande der Begeisterung — man kann fast sagen der Berauschung — nach Hause gegangen. Ungeahnte Möglichkeiten schienen sich aufzutun. Die gutartigen Uterusgeschwülste waren mit Hilfe der Röntgenröhre überwunden und zur Heilung gebracht. Es schien, als ob durch die Verwendung der Strahlen des Radiums und des Mesothoriums nun auch das zweite viel größere, heiß umstrittene Problem der operationslosen Heilung bösartiger Neubildungen der Verwirklichung nahegebracht wäre. Radium war damals die Losung, wie alle wissen, die auf jenem Kongreß gewesen sind, und die begehrtesten Leute waren dort die Vertreter der Firmen, die Radium und Mesothorium zu vergeben hatten.

Eine Erinnerung bezeichnet vielleicht am besten die damals herrschende Stimmung.

Ich ging mit meinem alten Freunde Wertheim, den uns im Frühjahr, viel zu früh für uns und die Wissenschaft, auf der Höhe seines Schaffens eine tückische Grippe entrissen hat, nach der Sitzung, in der die Erfolge des Radiums demonstriert worden waren, in Lauchstädt, dem klassischen Badeort bei Halle, auf Goetheschen Wegen spazieren.

Wertheim hatte ein Manuskript in der Tasche, das er mir zeigte und welches die sämtlichen Resultate seiner Operationen beim Uteruskarzinom, wohlgeordnet und untersucht enthielt. Er meinte: Es hat nun keinen Sinn mehr, diese Tabellen zu demonstrieren und zu verlesen, ich muß es als ein tragisches Schicksal hinnehmen, daß meine Lebensarbeit, die Radikaloperation des Uteruskarzinoms, in dem Augenblick überholt und unnütz gemacht wird, wo ich sie mit vielen Mühen und unter sehr schmerzlichen Verlusten auf die Höhe der Ausbildung gebracht habe."

Wie anders ist es gekommen, und doch:

Kein Zweifel, daß der Gynäkologenkongreß 1913 ein Markstein in der Geschichte der Radiumbehandlung war und ist. Mit einem Schlage war die neue Therapie im Bewußtsein aller Ärzte und vieler gebildeter Laien. Aber indes die hohen Wogen der Begeisterung nach außen hin langsam abebbten, setzte an allen Orten eine intensive Arbeitsleistung ein, welche insbesondere den Problemen der Tiefenwirkung und des Wirkungsmechanismus gewidmet war. Bumm hat wohl mit als erster die sog. „3-cm-Grenze" in die Diskussion geworfen. Anfangs meinte er, viel weiter reiche das Messer des Chirurgen auch nicht, später fand er in den 3 Zentimetern eine bedrückend enge Grenze, die auch durch die Steigerung der Dosis — wenigstens nicht ungestraft — nicht zu überwinden sei. Der Wirkungsmechanismus der Radiumbestrahlung schien nach zwei Richtungen hin der Aufklärung zu bedürfen: nach der physikalischen

und nach der biologischen. Das physikalische Problem führte — vor allem auch in starker Anlehnung an die inzwischen mächtig aufblühende Röntgenologie — zu mehr oder minder ausgiebigen, falschen und richtigen, nutzbringenden und nutzlosen Betrachtungen über die „physikalische Dosis", die Sekundärstrahlung u. a. m. und ist heute ziemlich im Sande steckengeblieben. Die biologische Erforschung der Strahlenwirkung ist dagegen heute noch in vollem Fluß, sie schickt sich vielleicht sogar an, uns zu neuen Wegen in der Strahlenbehandlung zu führen. Hier sollen die Fragestellungen nur kurz angedeutet werden. Schon Exner, nach ihm Sticker und Heinicke, haben die Anschauung vertreten, daß das Krebsgewebe nicht primär, sondern sekundär, und zwar unter dem Einfluß des wuchernden Bindegewebes, zugrunde gehe („Druckschwund"). Heute vertreten Opitz, Kok, Kaysser u. a. fast den gleichen Standpunkt und hoffen durch entsprechende Bestrahlung gerade der Geschwulstumgebung die Heilerfolge zu steigern. Das ist die eine Seite des Problems; die andere gruppiert sich um die Richtigkeit des Bergonniéschen und des Schultz-Arndtschen Gesetzes. Danach soll erstens die Strahlenempfindlichkeit der Zellen größer sein, je größer ihre reproduktive Tätigkeit ist, je länger ihr karygenetisches Werden dauert und je weniger ihre Morphologie und Funktion bereits fixiert sind. Zweitens aber sollen kleine Dosen wachstumsfördernd (reizend), große Dosen wachstumshemmend (lähmend) wirken. Eine Teilfrage dieses Problems wäre die wechselnde Strahlenempfindlichkeit der Gebärmutterkrebse je nach ihrer histologischen Beschaffenheit (Kehrer-Lahm, Döderlein jun.).

Das Bergonniésche Gesetz, schon von Wickham und Bellot angezogen und bestätigt, dürfte im großen und ganzen seine Richtigkeit haben. Aber: die genannten Zelleigenschaften sind nicht Individualcharaktere, sondern sie spiegeln bis zu einem gewissen Grade die altruistischen Gesetze wider, welche im Metazoon die Gewebe zu Organen und die Organe zum Organismus vereinigen. Wenn wir erst hier gewisse Einblicke werden gewonnen haben, so wird es uns vielleicht gelingen, in jedem Falle die Strahlenempfindlichkeit einer Zelle oder eines Gewebes vorauszusagen. Aber nicht nur dies: es wird uns vielleicht auch die Möglichkeit gegeben sein, den einen oder den anderen Faktor im Leben der Zelle willkürlich derart zu beeinflussen, daß eine gesteigerte Sensibilität erzielt wird. Hofbauers Hypophysenvorbestrahlung bei Genitalkarzinomen stellt vielleicht eine Etappe auf diesem Wege dar (s. Abschnitt B, Sensibilität und Sensibilisierung).

Das Schulz-Arndtsche Gesetz ist heiß umstritten. Von vielen behauptet oder stillschweigend angenommen und von Voltz in strenge physikalische und mathematische Formen gegossen, hat es durch Holzknecht, Pordes u. a. eine scharfe Ablehnung erfahren. Nicht alles, was wie eine „Reiz"dosierung aussieht, ist eine solche. Die Probleme liegen hier zur Zeit viel tiefer (Lahm). Wie es scheint, wird das Schultz-Arndtsche Gesetz für die nächste Zeit keine Bedeutung für die Praxis der Bestrahlung haben, womit selbstverständlich nicht auch gesagt ist, daß die kleinen Dosen keine Daseinsberechtigung hätten.

Eine wichtige Etappe auf dem Wege der Radiumanwendung in der Gynäkologie stellt die Arbeit von E. Kehrer aus dem Jahre 1918 dar, insofern sie sich mit dem Problem der Dosierung und der Tiefenwirkung (Reichweite) der Radiumpräparate eingehend beschäftigt. Sie hat in der Therapie der radioaktiven Strahlen im Sinne Krönigs ganz entschieden die Forderung nach exakter Bestimmung der Strahlenintensität aufgenommen und wollte an Hand einer Reihe von Präparaten mit bekannter Aktivität und auf Grund zahlreicher bestrahlter Karzinome ganz bestimmte Zahlenwerte angeben, welche als Grundlage für die praktische Dosierung gelten sollten. Leider haben

sich nicht alle Zahlen und Angaben später als richtig aufrechterhalten lassen, weil sie zum Teil auf falschen Voraussetzungen beruhten (Absorption im Gewebe zu hoch angesetzt u. a. m.), aber der Gedanke als solcher, daß nur die exakte Dosierung zu neuem Fortschritt führen könne, war richtig und fruchtbringend.

Fast um die gleiche Zeit war das ausgezeichnete, leider nur zu wenig beachtete Buch von v. Seuffert nach langen Druckschwierigkeiten erschienen. Es enthält eine Fülle von Material der Döderleinschen Klinik und ist eine fast unerschöpfliche Fundgrube für den exakt und wissenschaftlich arbeitenden Radiologen. Was Keetman schon 1913 betont hatte, daß die Radiumwirkung nicht nur von der angewandten Menge und der Bestrahlungszeit, sondern noch viel mehr vom Abstand und der Konzentration der radioaktiven Substanz abhängig sei, ist hier in langen Versuchsreihen erstmalig exakt bewiesen worden. Die Verteilung der strahlenden Substanz auf eine große Fläche und damit die Abschwächung der unerwünschten Nahwirkung ist meines Erachtens die wichtigste Neuerung, die hier in Erscheinung tritt und schließlich zu einer fast prinzipiellen Umgestaltung unserer Radiumtechnik führte. v. Seuffert hatte bei seinen „knopfförmigen Silberkapseln" eine strahlende Fläche von 400 qmm zur Verfügung und sagt doch (l. c. S. 176), „das schwierige und bisher noch nicht gelöste technische Problem ist also: Herstellung eines oder doch nur einiger weniger hochwertiger Bestrahlungsapparate mit größerer Flächenverteilung, die für alle Bedürfnisse der praktischen Tiefentherapie brauchbar sind"; Felderteilung und Kreuzfeuerbestrahlung — das betont v. Seuffert ausdrücklich — liegen nicht im Wege solcher Bestrebungen.

Eine Lösung des von v. Seuffert klargestellten Problems haben die Arbeiten von Opitz-Friedrich, Kehrer-Lahm, Matzdorf und Zander gebracht: sie erreichen die Besserung des Dosenquotienten nicht durch die technisch so schwierige Flächenverteilung des Radiums, sondern durch die Verteilung auf einer langen Linie, einer langen dünnen Walze usw. Auf Einzelheiten ihrer Arbeiten und die praktische Bestätigung ihrer Ansichten durch weit bessere Erfolge bei solcher Technik durch Menge-Eymer, v. Seuffert, Zander wird später einzugehen sein.

In neuester Zeit ist die Radiumbehandlung immer mehr ins Schlepptau der Röntgentherapie geraten, insofern sich die Unterschiede in der Strahlenqualität (Härte) immer mehr verringern und die Radiumanwendung in der Regel nur als ein letztes Adjuvans der Röntgenbehandlung gedacht ist. Diese Abhängigkeit ist sicher nicht glücklich; denn wenn nicht alles trügt, ist die Radiumtherapie doch etwas anders als die Röntgenbehandlung, und außerdem sind nicht einmal die biologischen Grundlagen der kombinierten Behandlung so gefördert, daß wir wirklich ernsthaft die Art unserer Kombination vertreten und begründen können[1]).

Über die neuere Geschichte der Radiumtherapie findet sich in den einschlägigen Kapiteln das Nötige.

2. Radiumtechnik.

Als Exner, Schücking, Abbé u. a. das Radium erstmalig zur Behandlung maligner Geschwülste anwandten, kann man von der Innehaltung einer besonderen Technik eigentlich noch nicht reden. Es war eine Radiumapplikation, welche die genannten Autoren vornahmen. Erst mit Dominici, Chéron und Rubens Duval kam eine eigentliche Technik auf. Dem Radium wurde eine bestimmte Form und Fassung gegeben, die Dosierung wurde quantitativ begrenzt und man schritt zu

[1]) Siehe den Nachtrag auf S. 568.

vorbereitenden Maßnahmen, welche die voraussichtliche Wirkung zu bessern versprach (Exkochleation, Kauterisation usw.). Es kann nicht unsere Aufgabe sein, auf alle Einzelheiten einzugehen, wie sie sich hier entwickelt haben. Es sollen aber die prägnantesten Punkte, welche auch heute noch für die Radiumtherapie eine Rolle spielen, in übersichtlicher Weise zusammengestellt und besprochen werden.

A. Vorbereitende Maßnahmen.

1. Desinfektion.

Es ist keine in der Natur der Sache begründete Forderung, bei der Radiumapplikation keimfrei zu arbeiten. Wird das Radium äußerlich angewandt, so genügt vollkommen die „allgemein übliche und wünschenswerte Reinlichkeit" oder, anders ausgedrückt: Wenden wir Radium in unmittelbarer Berührung mit dem Menschen an, so sollen wir bestrebt sein, dem zu behandelnden Menschen keine fremden Keime zuzuführen. Das erreichen wir am leichtesten, wenn wir das Radiumpräparat desinfizieren. — Auch beim Einlegen in Körperhöhlen (Mund, Nase, Ösophagus, Scheide, Rektum) müssen wir nicht unbedingt steril arbeiten. Notwendig und dringend aber wird dieses Erfordernis, wenn wir das Radium in Körperhöhlen einführen, welche normalerweise keimfrei sind (Blase, Uterus, Peritoneum), oder wenn wir das Radium an Stellen legen, die wir uns erst nach vorbereitenden chirurgischen Maßnahmen zugänglich machen (intratumorale und parametrane Bestrahlung). Hier hängt der Erfolg der ganzen Bestrahlung sehr oft davon ab, ob es uns wirklich gelingt, die Keimfreiheit der Körperhöhlen bis zur Beendigung der Bestrahlung aufrechtzuerhalten. Steigerung der Körpertemperatur und der Pulszahl orientieren uns darüber meist gut und schnell.

Bisweilen erlebt man nach der Bestrahlung noch den Eintritt von Fieber. Das hat in der Regel darin seinen Grund, daß der biologische Selbstschutz, über welchen die keimfreien Hohlorgane verfügen, durch die Radiumbestrahlung gelitten hat oder gar zerstört wurde. So sehen wir postaktinische Temperatursteigerungen nach uterinen Bestrahlungen, ähnlich wie wir sie vom Spätwochenbett kennen; auch Infektionen des uropoetischen Systems spielen eine Rolle.

Endlich können sich Infektionen an Strahlenschädigungen anschließen; auch sie zeigen einen „Verzug" (Bier), weil die Strahlenwirkung erst nach einer gewissen Latenz auftritt. Ein typisches Beispiel der hier gemeinten Infektionen sind die Phlegmonen des paraproktalen Bindegewebes nach Rektumulzeration (Kehrer-Lahm, Belugin). Die Zerstörung der Schleimhaut schafft dem bakterienreichen Mastdarminhalt die Eintrittspforte (s. Abschnitt IV).

Der Einlage des Radiums in das Cavum uteri hat eine peinliche Desinfektion der Vulva und Scheide vorauszugehen. Selbstverständlich ist eine absolute Keimfreiheit um so weniger zu erzielen, je größer der zerfallende und stets keimhaltige Krebsherd ist. Die Desinfektion der Scheide geschieht in der Regel wohl mit Sublimat ($1^0/_{00}$), Sublimatalkohol, Wasserstoffsuperoxyd (3%); den ulzerierenden Karzinomkrater kann man mit dem Paquelin verschorfen oder mit Jodtinktur oberflächlich verätzen. E. Kehrer empfiehlt, die Jodtinktur direkt im Röhrenspekulum auf das Karzinom aufließen zu lassen und dann mit trocknen Tupfern die überschießende Menge zu entfernen.

2. Probeexzision und Exkochleation.

Die Probeexzision ist in der Regel ein unumgänglich notwendiger Teil der Diagnose (s. Kapitel I). Sie soll natürlich möglichst schonend vorgenommen werden, doch

kommt es — wie wir bereits gehört haben — bei der Probeexzision nicht allein auf die rein formale Diagnose, sondern auch darauf an, daß wir aus den anzufertigenden Schnitten die Art des Karzinoms (Reifegrade), seine Wachstumsrichtung und die Reaktion des umgebenden Bindegewebes kennenlernen. Es ist in der Literatur wohl gelegentlich auf die Gefahr hingewiesen worden (Wintz), daß die Probeexzision als ein Wachstumsreiz wirken und die Ausbreitung der Neubildung beschleunigen könne. Wir selbst haben in der Dresdner Klinik außerordentlich häufig — vor allem in der ersten Zeit — von der Probeexzision Gebrauch gemacht, weil wir dadurch anfangs allein in der Lage waren, den Bestrahlungserfolg in Verbindung mit einer bestimmten Dosis exakt zu kontrollieren, und haben weder in besonderen Fällen noch in unseren Gesamtresultaten den Eindruck gewonnen, daß die Probeexzision eine Gefahr für die Propagation des Karzinoms einschließe.

Etwas anders liegt vielleicht die Sache in bezug auf die Infektionsgefahr. Erste Exzisionen bringen wohl kaum je einmal ernstere Komplikationen mit sich, doch haben sich an spätere Exzisionen bisweilen sehr akute infektiöse Prozesse angeschlossen, so daß wir heute, wenn nicht irgendein bestimmter zwingender Grund vorliegt, während der Bestrahlung keine Probeexzisionen mehr vornehmen. Besonders betonen aber möchte ich: da ein schlechter Einfluß der Probeexzision nicht nachweisbar ist, so soll die erste Exzision nicht gar zu stiefmütterlich ausfallen. An ein paar Bröckelchen aus dem Zerfallskrater kann man zwar rein formal die Diagnose stellen; aber nichts ersetzt uns die Aufschlüsse, welche uns die nur am größeren Gewebsstück mögliche genaue funktionelle Beurteilung des Gewebes vermittelt (Lahm).

Die Exkochleation verfolgt in der Hauptsache den Zweck, das frische Krebsgewebe freizulegen und der Radiumwirkung möglichst unmittelbar zugänglich zu machen. Es ist klar, daß dieser Gesichtspunkt nur dann eine wirkliche Berechtigung hat, wenn man das zu behandelnde Karzinom für eine sehr beschränkte lokale Affektion hält und kein Vertrauen zur Tiefenwirkung des Radiums besitzt. Für die Mehrzahl der Fälle ist demnach die Exkochleation eine geradezu kurzsichtige Maßnahme, die oft mehr Nachteile in sich birgt — Blutungen, Aufwühlen von Gewebsinfektionen — als sie Vorteile bringt. Ich bin immer der Meinung, man soll das Karzinomgewebe so wenig wie möglich mechanisch reizen — ich rechne dazu auch die allzu häufigen und allzu eingehenden gynäkologischen Untersuchungen — weil nicht nur mit dem längst nachgewiesenen Gehalt des ulzerierenden Karzinoms an pyogenen Keimen gerechnet werden muß, sondern weil auch eine direkte lymphatische Verbreitung von Krebszellen durch Druck möglich ist.

Etwas anders steht es mit der Kauterisation eines Karzinoms. Die strahlende Hitze des Brennstiftes tötet auf der einen Seite mit den Zellen auch die Eitererreger, auf der anderen Seite setzt sie an den tiefgelegenen Zellen Schädigungen, welche von der Radiumwirkung ihrem Wesen nach nicht allzu verschieden und daher sicher nur erwünscht sind. Endlich aber wird durch die Kauterisation eine verschorfte (trockene) Wundfläche geschaffen, was für die sofortige Radiumeinlage ein Vorzug ist. Nach Probeexzisionen oder Exkochleationen das Radium sofort einzulegen, empfiehlt sich nicht.

3. Probebestrahlung (probatorische Bestrahlung).

Eine eigentliche „Probebestrahlung" des Karzinoms ist vom Verfasser zur Feststellung der individuellen Radiosensibilität vorgeschlagen und in einer gewissen Zahl von Fällen auch ausgeführt worden. Was sonst gelegentlich in der Literatur als Probebestrahlung benannt wird, ist eine besondere Form der Bestrahlungstechnik. So hat z. B. Füth die Karzinome erst „probeweise" mit kleinen Dosen bestrahlt und ist alsdann erst zu den hohen Dosen übergegangen.

Die probatorischen Bestrahlungen führten wir in folgender Weise aus: es wurden kleine Radiumdosen (ca. 12—30 mg Ra-Elem.) an den Karzinomherd der Zervix oder der Portio angelegt und nach 6 Stunden wieder entfernt. Nach 4 Tagen wurde an der Applikationsstelle eine Probeexzision vorgenommen. Schnittrichtung bei der mikroskopischen Untersuchung so, daß man die Oberfläche und die tieferen Schichten des Gewebes in einer Ebene übersehen konnte. Indem man nun durch genaueste Zelluntersuchung die Tiefe der Wirkung festzustellen versuchte und andererseits genau die verabreichte Dosis berechnete, hoffte man die individuelle Strahlenempfindlichkeit des Krebsgewebes feststellen zu können. Das ist uns bisher aber nicht gelungen, so daß die probatorische Bestrahlung in dieser Richtung noch keine praktische Bedeutung besitzt.

Gelegentlich wurde mir vom Kliniker mitgeteilt, er fürchte die probatorische Bestrahlung. Man habe bisweilen den Eindruck, als sei eine raschere Propagation des Karzinoms nach der niedrigen Dosierung erfolgt. Ich habe — nachdem die Fälle alle mehrere Jahre zurückliegen — das Heilresultat mit dem der anderen Fälle verglichen und keinerlei Unterschied finden können. Prognostisch ungünstig ist also die probatorische Bestrahlung nicht zu bewerten (von 18 Fällen des Jahres 1920 sind heute 9 geheilt, 6 gestorben, 3 fraglich oder verschollen).

B. Die Dosierung.

Von fast allen Autoren, welche sich eingehend mit dem Strahlenproblem beschäftigt haben, ist betont worden, daß der Dosierung die entscheidende Wichtigkeit für den

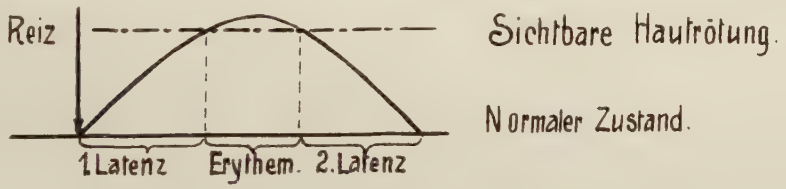


Abb. 2. Zum Dosisbegriff. Ein Reiz von bestimmter Größe bringt einen biologischen Vorgang zustande, der nach Art einer Kurve verläuft. Überschreitung einer „Grenze" bewirkt eine erkennbare „Reaktion".

therapeutischen Erfolg zukomme. Es soll nicht verkannt werden, daß mit diesem Ausdruck oft nur äußerlich der Eindruck einer genauen Übereinstimmung der Meinungen hervorgebracht wurde, indessen innerlich ein jeder den Inhalt des Satzes nach seiner Fasson auslegte. Und trotzdem ist kein Zweifel, die Dosierungsfrage ist diejenige, um die am meisten und härtesten gekämpft worden ist, und sie ist diejenige, welche die größte Literatur hervorgebracht hat.

Die „Dosis" ist eigentlich ein Volumbegriff, d. h. sie ist diejenige Energiemenge, welche in der Raumeinheit absorbiert wird (Friedrich). Mit diesem rein physikalischen Begriff können wir in der Medizin der Radiumstrahlen nicht allzuviel anfangen. Ich habe deshalb seinerzeit die Dosis als diejenige Reizgröße (Intensität) definiert, welche bestimmt ist, einen gewissen biologischen Effekt hervorzurufen. Statt biologischen Effekt kann man natürlich auch physikalischen Effekt sagen, und dann hat man den physikalischen Dosis- (Raum) Begriff wieder. Ich glaube, daß man die von mir angegebene Definition am besten durch eine Kurve darstellt (s. Abb. 2). Früher hatte ich die Kurve an ihrem Anfang etwas anders gezeichnet, um die „Reizkomponente" der Schwachbestrahlung zur Darstellung zu bringen. An eine direkte Reizwirkung, die ich nie im

mikroskopischen Bilde beobachtet habe, konnte ich nie glauben. Aus dem Bilde geht hervor, daß der Reiz nach einer gewissen Latenzzeit zu einer so bedeutenden biologischen Störung führt, daß die Latenzschwelle überschritten wird und ein sichtbarer Erfolg — hier das Erythem — erzielt wird.

Ich möchte für meine weiteren Ausführungen an dieser Definition der „Dosis" festhalten und werde zu besprechen haben, daß die Reizgröße abhängig ist vom Milligrammgehalt (Aktivität) der Präparate und von der Bestrahlungszeit. Ob die Reizschwelle überschritten wird, ist wieder abhängig von der Reizgröße und der Radiosensibilität. Von dieser Basis ausgehend, kommen Theorie und Praxis der Radiumbestrahlung zustande.

1. Radiosensibilität und Radiosensibilisierung.

Das Problem der Radiosensibilität und Radiosensibilisierung kann man physikalisch und biologisch auffassen. Mit Recht hat Voltz darauf hingewiesen, daß man als Sensibilität eines lebenden Systems „diejenige Empfindlichkeit bezeichnet, durch welche es einer einwirkenden Kraft ermöglicht wird, einen Zustand erhöhter Assimilation oder Dissimilation hervorzurufen". Diese Empfindlichkeit (Labilität) des Systems kann man auch physikalisch-mathematisch definieren, und zwar durch seinen Gehalt an kinetischer und potentieller Energie. So ist es möglich:

1. die Sensibilität energetisch zu begreifen,

2. die Sensibilität durch Energiezufuhr zu verändern, falls die letztere in ihrer Größenordnung so beschaffen ist, daß sie die primäre, d. h. im System selbst wirksame Energie merklich zu beeinflussen vermag.

So konnten Voltz u. a. zeigen, daß der galvanische Strom die Assimilation zu hemmen vermag und dadurch sich als ein Mittel ausweist, welches zur Sensibilisierung dienen kann. Offenbar können auch die Röntgenstrahlen auf die Sensibilität der Zellen einen Einfluß gewinnen (Sensibilitätsverminderung s. Schwarz).

Und wiederum wissen wir seit langem, daß wir auch in den sog. Eigenstrahlern (Elemente mit einem Atomgewicht über 27) Substanzen besitzen, welche am Orte der Strahlenwirkung eine Steigerung der physikalischen Raumdosis, d. h. der Strahlenabsorption herbeiführen und dadurch Einfluß auf die Energieverhältnisse des lebenden Systems gewinnen. Streng genommen bedeuten die letzteren Methoden allerdings keine Sensibilisierung, sondern eine Steigerung der einwirkenden Strahlendosis.

Ich nenne hierzu nur die Versuche mit fluoreszierenden Substanzen, Seleneosin, Quecksilber, Jod, Arsen (Werner) und die Verkupferung (s. Kapitel V).

Im eigentlichen Sinne sensibilisierend wirkt dagegen zweifellos das Enzythol (borsaures Cholin), nicht dagegen das Lezithin (Fernau). Als Sensibilatoren sind auch die Reize anzusehen, welche von der Hypophyse, dem Ovarium und vielleicht den anderen inneren Drüsen (M. Fraenkel) ausgehen, bzw. von diesen Drüsen nach Bestrahlung derselben wirksam werden.

Hofbauer hat bekanntlich in der Döderleinschen Klinik gezeigt, daß die Bestrahlung der Hypophyse allein ein Vulvakarzinom zur Rückbildung anregte und daß die nachfolgende Lokalbestrahlung einen überraschend guten Erfolg hatte. Bezüglich des Ovariums habe ich schon vor langem darauf hingewiesen, daß es für den Heilungsprozeß beim Karzinom mit und ohne Bestrahlung von Wichtigkeit sei. Wiederholt habe ich betont, daß der biologische Erfolg kleiner Radiumdosen beim Karzinom vielleicht darauf zurückzuführen sei, daß die ovarialschädigende Dosis nicht erreicht wurde. Haben wir doch in Dresden, genau wie Döderlein und Schäffer, einen Fall erlebt.

wo eine Frau nach der Heilung des weit fortgeschrittenen Kollumkarzinoms konzipierte und abortierte, wodurch bewiesen wird, daß entweder die Empfindlichkeit des Karzinomgewebes noch größer war als die der Ovarialsubstanz, oder daß eben die Ovarialfunktion sehr wesentlich zum biologischen Erfolg der Karzinombeseitigung mit beiträgt. Es darf in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen werden, daß Thies seit Jahren bei der Totalexstirpation des Uterus die Ovarien erhält, und zwar indem er sie an den Spermatikalgefäßen hängend nach dem Oberbauch umschlägt und dort fixiert. Bei im übrigen gleicher Operationstechnik, bei gleicher Operabilitätsziffer und gleicher primärer Mortalität stieg dabei seine Karzinomheilung von 21 auf 43%.

Sehen wir von der physikalisch-energetischen Definition der Radiumsensibilität ab, so haben wir es rein praktisch-medizinisch mit einem Problem zu tun, das uns zeigt, wievielmal mehr das Krebsgewebe strahlenempfindlicher ist als das übrige Gewebe des Körpers.

Ich kann nicht auf die geschichtliche Entwicklung des Sensibilitätsbegriffes in diesem Sinne (Krönig-Friedrich, Seitz-Wintz), auch nicht auf die Methoden eingehen, wie jene zu festen Zahlenwerten gekommen sind. Es steht heute fest (Kaysser, Opitz), daß es eine einheitliche Karzinomempfindlichkeit nicht gibt und daß die in der Röntgenologie gewöhnlich genannte Zahl von 100—110% der H.E.D.

1. für das Radium noch nicht bewiesen ist (zugegebenermaßen ist dieselbe auch sehr schwer festzustellen), [s. dazu den Nachtrag auf S. 568].

2. überhaupt nur eine obere Grenze (Toleranzdosis) bedeuten soll, welche bei der perkutanen (Röntgen-) Bestrahlung des Kollumkarzinoms nicht überschritten werden soll. In diesem Sinne ist auch der Ausdruck Holzknechts von der „Dosisstufe" aufzufassen. Es beträgt nach ihm die Sensibilität des Karzinoms nicht x% der H.E.D., sondern es weist der Krebs eine Empfindlichkeit von m bis n% auf (s. unsere Angaben auf S. 557).

In neuester Zeit ist, vor allem von Opitz, immer wieder betont worden, daß die Rückbildung des Karzinoms unter dem Einflusse der Bestrahlung ein biologisches Problem sei. Es ist das zweifellos richtig und bereits durch die Untersuchungen von Lourier bewiesen. Welches aber die biologischen Faktoren sind, durch welche die Rückbildung des Karzinoms bewirkt wird, ist ganz unklar. Ich möchte z. B. nur an die Fälle von Spontanheilung erinnern (Sauerbruch), bei denen es bis zu einem gewissen Grade direkt charakteristisch ist, daß der Restitutio ad integrum eine völlige Erschöpfung des Organismus durch Blutung oder schwerste Kachexie vorausgeht. Einen selbst beobachteten Fall dieser Art darf ich zur Illustration wohl hier erwähnen:

Am 17. September 1921 kam eine 51jährige Frau Elise N. zur Nachuntersuchung, nachdem sie im August desselben Jahres 7290 Milligrammelementstunden Radium und eine entsprechende Zusatzdosis mit Röntgenstrahlen erhalten hatte. (Zwei Großfelder von Bauch und Rücken N D 33% oberflächlich je 50% der H.E.D.) Der im August als Karzinom der Gruppe II bezeichnete Fall erwies sich jetzt als sicher der Gruppe III angehörig. Auch wurden 8 Pfd. Gewichtsabnahme festgestellt.

5 Wochen später, am 25. Oktober 1921, stellte sich die Patientin wieder vor. Sie hatte wieder 8 Pfd. an Gewicht abgenommen. Die Untersuchung (E. Kehrer) ergab einen mächtigen Krater in der Gegend der Zervix, der überall mit papillären Wucherungen besetzt war.

Epikritisch wurde festgestellt, daß das Karzinom durch Radium so gut wie unbeeinflußt sei und die ganze Erkrankung als so progredient sich erweise, daß eine weitere Röntgenbehandlung sich erübrige.

Am 9. Februar 1923 — 15 Monate nach diesem soeben mitgeteilten Urteil — erschien die Patientin überraschenderweise wieder. Von Karzinom war nichts mehr nachweisbar, Gewichtszunahme über 23 Pfd.

Anamnestisch ergab sich, daß Patientin nach ihrer letzten Untersuchung in der Klinik am 25. Oktober 1921 bettlägerig wurde und an Gewicht so herunterkam, daß sie zum Skelett abgemagert sei. Bis 28. März 1922 — volle 5 Monate — habe sie fest zu Bett gelegen. Anfang November 1921 sei eine schwere Blutung eingetreten, die von dem zugezogenen Hausarzt nur durch Tamponade hatte gestillt werden können. Elendester Zustand die ganzen Monate.

Am 8. Februar 1924 stellte sich Patientin wiederum vor. Sie sah sehr gut aus, hatte nochmals 12 Pfd. an Gewicht zugenommen und zeigte keine Spur einer karzinomatösen Erkrankung.

Ich glaube nicht, daß man diesen Fall als einen direkten Erfolg der Strahlenbehandlung buchen kann, möchte vielmehr annehmen, daß es sich hier um eine Spontanheilung handelt.

In welcher Weise — biologisch gesprochen — sich die Spontanheilungen des Karzinoms vollziehen, darüber bestehen bis heute nur Vermutungen. Ich habe vor 2 Jahren darauf hingewiesen, daß es sich vielleicht um einen Vorgang handle, „als dessen sichtbaren Ausdruck wir die Prosoplasie des Karzinomgewebes auffassen dürfen". Ich möchte gerade im Hinblick darauf die Untersuchungen und Beobachtungen besprechen, über welche Adler und Kehrer-Lahm berichtet haben.

Es hat Adler erstmalig darauf aufmerksam gemacht, daß sich ein auffallender Unterschied in der primären Heilungsziffer der histologisch unterscheidbaren Karzinome ergebe. Folgende kleine Tabelle ist seinen Beobachtungen entnommen:

Tabelle 1. Adler, Radiosensibilität und histologisches Bild.

Histologisch		Zahl	Lebend nach 6 Monaten	Radiosensibilität
Plattenepithelkarzinome	reif	20	70%	stark
	mittelreif	36	25%	mäßig
	unreif	53	5,6%	schlecht
Rein drüsige Karzinome		14	0%	refraktär

Daraus schien einwandfrei hervorzugehen, daß die ausgereiften Formen des Plattenepithelkarzinoms ganz entschieden besser reagieren wie die unreifen Formen und daß die rein drüsigen Karzinome des Kollums sich refraktär verhalten. Trotzdem ist Adler mehr der Auffassung, daß nicht die Reifegrade, sondern die Wachstumsformen die größere Bedeutung für die in diesen Zahlen zum Ausdruck kommende Radiosensibilität besitzen, weil die schlechte Empfindlichkeit der unreifen Karzinome im Widerspruch stehe zu dem Bergoniéschen Gesetz (s. u.). So untersuchte er weiter und fand, daß von 36 vorzugsweise auf dem Lymphwege fortschreitenden Tumoren nur 3 = 8,3% primär geheilt wurden; das schien Adlers Auffassung zu bestätigen.

Wir haben in Dresden die Radiosensibilität unserer Kollumkarzinome in der gleichen Weise geprüft, wie es Adler getan hat, nur daß wir statt der primären Heilungsziffer nach 6 Monaten die von 2 Jahren einsetzten. Die folgende Tabelle gibt unsere Beobachtungen wieder.

Tabelle 2. Kehrer-Lahm, Radiosensibilität und histologisches Bild.

Histologisch		Zahl	Geheilt nach 2 Jahren	Radiosensibilität
Plattenepithelkarzinome	reif	30	45%	stark
	mittelreif	80	34%	
	unreif	10	25%	mittel
Sekundär solide Plattenepithelkarzinome		18	34%	
Rein drüsige Karzinome		12	0%	refraktär

Auch hieraus ergibt sich, daß die Radiumsensibilität der reifen Karzinome am größten ist; für die übrigen Formen — mit Ausnahme des Adenoms, das absolut refraktär erscheint — ist das Ergebnis nicht so eindeutig. Immerhin erscheinen auch hier die unreifen Karzinome auffallend wenig radiosensibel.

So scheint sich hier in der Tat ein ganz bemerkenswerter Widerspruch gegen das Bergonié-Tribondeausche Gesetz aufzutun, welches bekanntlich besagt, daß eine Zelle um so radiosensibler ist:

1. je größer ihre reproduktive Tätigkeit ist,
2. je länger ihr karyokinetischer Werdegang ist und
3. je weniger ihre Form und Funktion definitiv fixiert ist.

Ich möchte das Bergoniésche Gesetz hier nicht als bewiesen hinstellen, gehe aber auf diese Frage nicht näher ein. Ich will nur betonen, daß es uns gelang den Widerspruch, der hier hervorgehoben wurde, durch weitere Untersuchungen aufzuklären. Bei den gleichen Fällen, die unserer obigen Tabelle zugrunde liegen, haben wir nämlich während und nach der Bestrahlung zahlreiche Probeexzisionen vorgenommen, welche stets so ausgeführt wären, daß sie ungefähr bis in eine Tiefe von 2 cm ins Gewebe der Zervix reichten. Dabei ergab sich, daß die ausgereiften Karzinome mit 3—7000 Milligrammstunden vernichtet wurden, die mittelreifen Formen eine Dosis von 1000 (!) bis 8000 Milligrammstunden — bei einem Optimum von 3000—5000 Milligrammstunden in 33 von 79 Fällen — brauchten, und daß die unreifen Karzinome auf 2000—15000 Milligrammstunden verschwanden, ohne bei irgendeiner Dosierung ein Optimum aufzuweisen. Aus diesen Untersuchungen haben wir unsere Radiosensibilität der verschiedenen Karzinomformen berechnet und sind zu folgender Überzeugung gekommen: Es beträgt die

Radiumsensibilität	des	reifen	Plattenepithelkarzinoms	$1-2^1/_4$ H.E.D.[1])
„	„	mittelreifen	„	$^1/_2-1^1/_2$ „
„	„	unreifen	„	$^1/_3-4^2/_3$ „

Man erkennt hieraus nicht nur, daß die Radiosensibilität der Karzinome sehr verschieden groß ist, sondern daß sich auch bis zu einem gewissen Grade eine Bestätigung des Bergonniéschen Gesetzes findet.

Es ist oben schon darauf hingewiesen worden, daß wir auf der Basis dieser Versuche bestrebt gewesen sind, die individuelle Radiumsensibilität festzustellen, daß wir bisher aber zu einem Ziel in diesem Sinne nicht gekommen sind. Adler hat die Radiosensibilität seiner Karzinome nicht in dieser Weise bestimmt, hält aber das Carzinoma colli durchschnittlich für doppelt so empfindlich wie das Epithel der Haut.

2. Maßeinheiten.

Die physikalische Messung der Radioaktivität macht große Schwierigkeiten, weil auf der einen Seite die Energie der radioaktiven Substanzen gering ist, auf der anderen Seite aber die Durchdringungsfähigkeit der γ-Strahlen so groß ist, daß die Meßinstrumente kaum genügend vor unerwünschten Einflüssen zu sichern sind. Wintz hat schon im Jahre 1914 die iontoquantimetrische Messung seiner Radiumdosen versucht und hatte dabei ein 6 m (!) langes Kabel von der Meßkammer bis zum Elektrometer verwendet. Trotzdem mußte er die Versuche später abbrechen, weil sie zu keinem befriedigenden Resultat führten. Es kam hinzu, daß die Verhältnisse während des

[1]) Über die Größe der H.E.D. siehe auch den Nachtrag auf S. 568.

Krieges es für die Mehrzahl der Radiumtherapeuten unmöglich machten, sich ein physikalisches Meßinstrument zu verschaffen.

So blieb für die Messung der Reizgröße bei der Anwendung des Radiums nur die Bestimmung nach der Milligrammstunde und die biologische Einheit übrig. Statt der Dosis wurde also die Intensität bestimmt.

Gegen die Milligrammstunde ist vielfach Sturm gelaufen worden. Trotzdem glaube ich nicht, daß man dieses Maß, welches zweifellos sehr bequem ist und nur einer richtigen Begriffsumgrenzung bedarf, wird ausmerzen können. Ist doch die biologische Einheit allein immer ein höchst unsicherer Wert, der letzten Endes doch noch der objektiven (physikalischen oder mathematischen) Sanktionierung bedarf (s. Haut-Einheitsdosis in der Röntgenologie S. 603).

Die Hauptvorwürfe gegen die Milligrammstunde sind drei:

1. daß sie nicht zu erkennen gestatte, mit wieviel Milligramm (Radiumelement: die Angabe nach Radiumsalz ist jetzt vollkommen verlassen) — bestrahlt worden ist,

2. daß sie nicht feststellen lasse, ob die Bestrahlung in einer einmaligen Dauersitzung (Dosis plena) oder unterbrochen (Dosis refrakta) erfolgt sei,

3. daß die Filterung, die Größenordnung der Präparate, der Abstand vom lebenden Gewebe und die Art der Applikation (dem lebenden Gewebe nur angelagert oder mitten in demselben liegend) keine Berücksichtigung finden.

Die beiden ersten Vorwürfe kann man durch geeignete Schreibweisen bzw. durch die Angabe, daß völlige Reizsummation anzunehmen sei, entkräften. Man braucht die Zahl 1000 mg Stunden nur zu schreiben 50×20 Milligrammstunden oder $50 \times (10 + 10) = 1000$ Milligrammstunden, und es wird kein Zweifel mehr darüber bestehen, in welcher Weise bestrahlt wurde.

Der dritte Vorwurf, der streng genommen nur teilweise zum Dosisbegriff gehört, ist nicht leicht abzutun. Es ist richtig, daß 10000 mg-Stunden Radium anders zu bewerten sind, wenn sie durch 1,5 mm Messing oder durch 3 oder gar 10 mm Blei gefiltert wurden. Schon der Abstand vom lebenden Gewebe spielt hier eine große Rolle, weil mit die größte Energie des Radiums sich in den ersten zwei Zentimetern verbraucht.

Es bleibt daher nur übrig, diese Dinge — Filterung, Größe der Präparate, Abstand und Applikation — von Fall zu Fall genau anzugeben, was ja schließlich zur ganzen Beurteilung der Technik und Methodik — nicht nur der Dosierung — von größtem Werte ist.

Als erster hat sich Krönig mit der Frage eines Maßes für die radioaktive Strahlung befaßt. Er bezeichnete die Radiumintensität als Impulsstärke und hatte für ihre Berechnung bereits 1914 gemeinsam mit Königsberger eine Formel festgestellt.

v. Seuffert ging von der (vielfach bestätigten?) Überlegung (Beobachtung) aus, daß das Karzinom durch 48stündige Bestrahlung mit 50-Milligrammstundenelement (= 100 mg Radiumbromid) geheilt würde, wenn seine Ausdehnung rings um den Zervikalkanal nicht mehr als 30 mm betrage. Er bezeichnete die Reizgröße, die bei solcher Dosierung in 30 mm vom Zervikalkanal noch wirksam sein mußte, als Karzinomdosis und setzte sie gleich 1. Seine Tabellen entsprechen also einer biologischen Dosierung und sind auf die Karzinomdosis 1 bezogen (s. nächsten Abschnitt S. 556).

Kehrer hat sich in seiner ersten Arbeit, in der er sich mit der Berechnung der Radioaktivität beschäftigte (1918), an Krönig-Königsberger angelehnt und unter der Voraussetzung eines punktförmigen Radiumfokus nach Impulsstunden gerechnet. Gleichzeitig gab er an, daß eine Mindestintensität von 1 Milligramm Radiumelement vorhanden sein müsse, wenn das Karzinomgewebe noch zugrunde gehen sollte. Auf diese

Weise meinte er, lasse sich für jedes Präparat leicht die Reichweite berechnen; eine Erklärung oder einen Beweis hat Kehrer dafür nicht angegeben.

In Kehrers Referat zum Gynäkologenkongreß (1920) wurde die Radioaktivität nach Milligrammelementstundenzentimeter (mgeh/cm) berechnet, d. h. es wurde als Einheit diejenige Intensität gewählt, welche ein (gefiltertes) Radiumpräparat von 1 mg Elementgehalt in 1 cm Abstand entfaltet.

Friedrich hat mit Glaser zusammen die Intensität der Radiumpräparate iontoquantimetrisch gemessen und den Ablauf des Instrumentes (in Sekunden ausgedrückt) als Einheit gewählt. Die gefundenen Zahlen wurden sodann auf „100" bezogen, womit die Intensität in 1 cm Abstand vom Radiumpräparat willkürlich bezeichnet ist.

Matzdorf „mißt" nach Einheitsmilligrammenergie (E. mg. E.). Er versteht darunter die Intensität, welche ein mit 1,5 mm Messing und 5 mm Zelluloid gefiltertes Präparat rechnerisch liefert. Als Einheitsmilligrammintensität (E. mg. I.) bezeichnet er die Energie, welche in 1 cm Abstand vom Mittelpunkt einer mit Einheitsfilter gefilterten radioaktiven Substanz wirksam wird. Außerdem berechnet er die Größe dieser Energie für verschieden ausgedehnte Präparate bei verschiedenem Abstande. In jeder Dosisangabe soll nach ihm stehen:

1. der Milligrammelementgehalt;
2. die Bestrahlungszeit;
3. die Wirksamkeit an der Oberfläche des Gewebes, an einem tiefgelegenen Punkte und an einem ferngelegenen Strahlenziel;
4. die jeweilige Gesamtenergie, wie sie sich aus der Summe der einzelnen Energien und der Bestrahlungszeit berechnet.

Über das Abstandsmaß herrscht im allgemeinen keine Meinungsverschiedenheit. Seitz-Wintz schlagen einmal vor, besser nach Millimetern zu rechnen. Das ist unbedingt richtig, und wir tun es allgemein, indem wir stets die erste Dezimalstelle beim Abstand mit berücksichtigen, was in der Röntgentherapie natürlich nicht der Fall ist.

In bezug auf die Bestrahlungszeit sind alle Autoren den gleichen Weg gegangen: es wird allgemein nach der Bestrahlungsstunde gerechnet.

3. Dosierungstabellen.

Von „Maßeinheiten" in der Radiumtherapie zu sprechen, klingt fast wie Ironie, wenn man die mannigfaltigen Angaben der Autoren, welche zur Radiumdosierung dienen sollen, betrachtet. Dabei kann unsere Liste nicht einmal den Anspruch auf Vollständigkeit machen! Und doch wie bedauerlich: denn es ist zweifellos richtig, daß die Unsicherheit und Unzulänglichkeit, welche gerade auf dem Gebiete der Dosierung herrschen, Grund dafür gewesen sind, daß zahlreiche Forscher von der Radiumtherapie abgekommen sind (Matzdorf). Ich möchte im folgenden aber zeigen, daß de facto die Unterschiede in den Angaben der einzelnen Autoren nicht allzu groß sind und daß es sehr wohl erreicht werden könnte, wirklich mit einer Einheit auf dem Gebiete der Radiummessung oder -berechnung zu arbeiten.

Die älteren Dosierungstabellen von Krönig, E. Kehrer, G. Klein usw. können hier übergangen werden, es kommen nur die neueren Zahlen von Kehrer-Lahm, Friedrich-Glaser, Seitz-Wintz, Hauschting, Zander und Martius in Frage.

Ich möchte von den Beobachtungen der Berliner Klinik (Hauschting-Zander) ausgehen. Die genannten Autoren haben von Radiumpräparaten mit verschiedenem Elementgehalt, verschiedener Form und Ausdehnung die Erythemdosen an

der Oberfläche der Präparate und in 2 und 3 cm Tiefe (Abstand) bestimmt. Außerdem haben sie geprüft, in welcher Weise sich neben- oder hintereinander gelegte Präparate in ihrer Wirkung addieren. Es stellte sich dabei heraus:

1. daß die Erythemzeiten sich bei ein und demselben Präparat, gleichgültig, welches Filter verwendet wird, wie **1 : 6 : 15 : 36** verhalten, wenn das Präparat zuerst

Abb. 3. Drei nebeneinanderliegende Radiumpräparate. Summation der Wirkung auf der Haut, wie die Strahlenkegel zeigen. Nach Zander, Arch. f. Gynäk. 115.

der Haut anliegt und dann auf 1, 2 und 3 cm Abstand entfernt wird (zwischen Präparat und Haut Wasser als streuendes Medium);

2. daß (quer) nebeneinandergelegte Präparate sich in ihrer Wirkung addieren (Abb. 3), wobei ein verschiedener Milligrammelementgehalt der zusammengefügten

Abb. 4. „Längsgeschaltete" Radiumpräparate. Zwischen den 3 Präparaten liegen kleine Zwischenräume, dadurch wird eine gleichmäßige Wirkung auf die Haut verhindert. Nach Zander, Arch. f. Gynäk. 115.

Präparate keine Rolle spielt und daß das Verhältnis der Erythemzeiten, wie es oben angegeben wurde, bei der Tiefenwirkung sich nicht verändert;

3. daß (in der Länge) hintereinandergeschaltete Präparate getrennte Erytheme ergeben, selbst wenn die Radiumträger direkt aneinander anstoßen (Abb. 4).

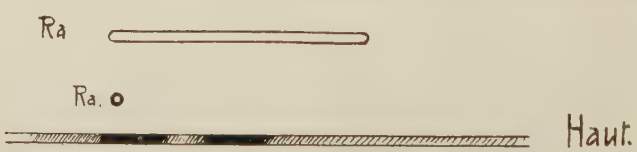


Abb. 5. Rechtwinklig zueinander liegende Radiumpräparate. Summation der Wirkung; die schwarzen Stellen zeigen das Maximum der Wirkung.

Befindet sich zwischen den Radiumträgern ein Messingstück von etwa 4—5 mm Dicke, so liegen die Erytheme fast 1 cm auseinander. Auch nach der Tiefe hin selbst noch in 2 cm Abstand vom Radiumpräparat wird dieses „Minimum an Intensität" nicht aufgehoben;

4. rechtwinklig zueinander angeordnete Radiumstifte verstärken sich (Abb. 5).

In diesen Angaben scheint das quantitative Moment, das doch schließlich die Dosierung bedeutet, noch fast ganz zu fehlen. Nur Verhältniszahlen werden uns gegeben. Sie besitzen aber, wie wir gleich weiter sehen werden, einen recht erheblichen Wert.

Hervorheben möchte ich an dieser Stelle nur noch, um den Vergleich bei unseren Betrachtungen zu erleichtern, daß bei Hauschting und Zander der Begriff

„Oberfläche" einen Abstand von 0,4—0,5 cm
„1 cm Tiefe" „ „ „ 1,4—1,5 „
„2 cm Tiefe" „ „ „ 2,4—2,5 „

vom Mittelpunkt der strahlenden Substanz bedeutet, denn, wie die Autoren mitteilen, liegt das Radium in einem ca. 3 mm dicken Silberröhrchen, darauf folgen 2 mm Messing und ein 1—2 mm dickes Gummisekundärfilter. Wir werden auf den „Fokushautabstand", der sich aus diesen Angaben berechnen läßt, später noch einmal zurückkommen.

Nach den Berliner Zahlen möchte ich die Dresdener Werte angeben. Ich habe 1921 - in großen Umrissen schon 1920 im Referat Kehrers über die Radiumbestrahlung — Kurven und Tabellen gegeben (s. S. 569), welche für die verschiedensten Präparate (verschiedene Wertigkeit, verschiedene Länge und Ausdehnung) gezeichnet waren und welche eine sehr merkwürdige Tatsache erkennen lassen: es besteht nämlich hier für kurze Präparate (bis 20 mm Länge) das gleiche Verhältnis der Dosen, wie es auch in der Bummschen Klinik von Hauschting und Zander errechnet worden ist.

Wird „an der Oberfläche" die Dosis 1 gegeben[1]),

so beträgt sie in 1 cm Tiefe = 1:5,8 (rund $^1/_6$)
in 2 cm Tiefe = 1:15,3 (rund $^1/_{15}$)
in 3 cm Tiefe = 1:30,7 (rund $^1/_{31}$)

Man erkennt die fast absolute Übereinstimmung dieser Werte mit den Berliner Zahlen; nur im 3. Zentimeter besteht eine kleine Abweichung, die aber wirklich unbedeutend ist. Was die Dresdener aber ganz und gar von den Berliner Zahlenangaben unterscheidet, ist:

1. die absolute Höhe der für die Erzeugung eines Erythems notwendige Dosis (sie beträgt in Berlin für 40 mg Radiumelement 2 Stunden, in Dresden für 54 mg $2^1/_4$ Stunden, Genaueres s. unten);

2. die völlige Veränderung der oben angegebenen Verhältniszahlen, wenn die radioaktive Substanz in Form einer kontinuierlichen „Brennlinie" (das Wort stammt aus dem Kehrerschen Referat zum Gynäkologischer Kongreß 1920) angeordnet ist.

Auf den erstgenannten Punkt werden wir weiter unten noch genauer eingehen. Über die Verhältniszahlen bei langgestreckten Präparaten haben unsere Untersuchungen aber folgendes ergeben:

Es verhalten sich hier die Dosen wie **1 : 8 : 22,5 : 35,8**.

Es geht aus diesen Werten klar hervor, wie außerordentlich die kontinuierlich angeordnete radioaktive Substanz jedem anderen Gerät in bezug auf Schonung der nächsten Nachbarschaft überlegen ist. Während Hauschting und Zander in 2 cm Tiefe (der „kritischen Zone" bei der Radiumbestrahlung des Kollumkarzinoms) eine Dosis von nahezu $2^1/_2$ Erythemeinheiten (2,4) verabreichen, wenn sie oberflächlich 36 Erythemdosen

[1]) Berechnung der Grundzahlen nach Tabelle 11 S. 568. In 1 cm Abstand **261** $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}} = \frac{116 \cdot 3^2}{2^2}$; in 2 cm Abstand **45** $= \frac{29 \cdot 15}{12}$; in 3 cm Abstand **17** $= \frac{12 \cdot 6}{5}$; in 4 cm Abstand **8,5** $= \frac{6{,}5 \cdot 8}{5}$.

applizieren, werden bei der Dresdener Methode am gleichen Punkte kaum mehr als $1^1/_2$ Erythemdosen wirksam (1,6 H.E.D.). Liegt z. B. der Mastdarm 2 cm von der Außenseite eines Radiumpräparates entfernt und ist die nächste Nachbarschaft des Röhrchens so unempfindlich wie das Myometrium, so kann man nach den Dresdener Zahlen 30 Erythemadosen in aller Ruhe applizieren, ohne den Mastdarm irreparabel zu schädigen.

Ich glaube, es kann nicht schlagender als durch diese einfache Berechnung bewiesen werden, wie wichtig gerade die kontinuierlich angeordnete, nicht auf kleinem Raume zusammengeballte und nicht unterteilte radioaktive Substanz für die Bestrahlung des Kollumkarzinoms wie für jede Bestrahlung überhaupt ist.

Amreich befand sich bei seinen Untersuchungen, wie man die Wirksamkeit der Radiumbehandlung steigern könnte, auf dem gleichen, und zwar dem besten Wege. Er sagt: „Erschwert wird die Radiumtherapie besonders durch die übermäßige Mitbestrahlung des Gewebes zwischen Strahlenquelle und Strahlenziel (gemeint sind die möglichen äußersten Vorposten des Karzinoms an der Beckenwand). „Kritisch" ist vor allem die Zone, die etwa 2 cm vom Zervikalkanal entfernt liegt und den Ureter birgt (kritische parametrane Schicht). Amreich legte sich nun die Frage vor, ob die Intensität der Bestrahlung in den kritischen Schichten durch veränderte Form der Radiumträger herabgemindert werden könnte. An Beispielen zeigt er, daß bei punktförmigen oder kugeligen Radiumpräparaten die Abnahme der Intensität nach dem Gesetz vom Quadrat des Abstandes erfolge, $1 : {}^1/_4 : {}^1/_9 : {}^1/_{16} : {}^1/_{25}$ usw., daß aber bei gestreckten Präparaten (von $1^1/_2$ cm Länge z. B.) Abweichungen von diesem Gesetz beständen, welche

	28%	7,5%	3,3%	usw.		Abstand vom
in	1	2	3	„	cm	Radiumträger betrügen.

Soweit ist alles richtig. Nun aber unterläuft Amreich ein folgenschwerer Irrtum. Bei der Frage, zu wessen Gunsten die Abweichungen ins Gewicht fallen, antwortet er: zuungunsten der kritischen Schicht. Er hätte sagen müssen: Wenn in 1 cm und 2 cm Abstand von Radiumröhrchen eine 28%ige und 7,5%ige Verminderung der Strahlenintensität eintritt (Amreich nahm offenbar eine Vermehrung an), so kann das nur **zugunsten** der kritischen Schicht, des prognostischen Index, wie er sich ausdrückt, wirken.

Es ist also ein bedauerlicher, aber absoluter Fehlschluß, wenn Amreich zu dem Schlusse kommt, daß man bei Anwendung von punkt- oder kugelförmigen Strahlenquellen das beste Dosenverhältnis zwischen Strahlenziel und kritischer Tiefe erhält — d. h. es ist falsch, wenn er sagt „es können die Chancen der Strahlenquelle durch Veränderung der Form nicht gebessert werden".

Es seien nunmehr die Beobachtungen von Friedrich und Glaser angeschlossen. Die Autoren haben mit einer eigens dazu hergestellten Versuchsanordnung die Dosen gemessen, welche rings um ein Radiumröhrchen erwartet werden dürfen. Als Ausgangspunkt diente ein Präparat von 46,46 mg Radiumelement, das in eine 2,28 cm lange, 0,46 cm dicke Silberhülse eingeschlossen war und mit 1,5 mm Messing gefiltert wurde. Messung in einem eigens hergestellten Glasphantom, das mit Wasser gefüllt werden konnte. Leider ist bei den Zahlen der folgenden Tabelle nicht gesagt, ob die Abstände vom Mittelpunkt der strahlenden Substanz und der Meßkammer oder von der Oberfläche des Röhrchens bzw. der Kammer bestimmt sind. Wir werden auf diese Frage noch zurückkommen müssen.

Tabelle 3. Meßresultate nach Friedrich-Glaser.

46,46 mg	Abstand in cm	1	2	3	4	5	6	8
Rad.-Elem. Länge des Präpar. 2,28 cm	Dosis in Wasser	100	23,2	10,4	5,4	3,3	2,2	1,2
	in Luft	100	25,0	11,2	6,0	4,0	2,6	1,4

Für ein Präparat von erheblich größerer Länge (= 8,28 cm) lassen sich unter sonst gleichen Bedingungen folgende Zahlen gewinnen (Tabelle 4):

Tabelle 4.

1395,5 mg	Abstand in cm	1	2	3	4	5	6	8
Rad.-Elem. Länge des Präpar. 8,28 cm	Dosis in Wasser	100	32,4	15,7	9,3	5,6	4,2	2,4
	in Luft	100	30,5	15,0	9,3	6,3	4,6	2,6

Interessant an diesen beiden Tabellen ist, daß in Tabelle 3 die Dosen im wassergefüllten Phantom alle kleiner sind als die im leeren Phantom, während in Tabelle 4 bis zum 4. Zentimeter die Wasserzahlen größer und erst von da ab kleiner werden als die Luftzahlen. Es ist klar, daß ein solches Ergebnis rechnerisch wohl niemals erhalten werden kann; aber auch physikalisch dürfte seine Erklärung auf Schwierigkeiten stoßen. Mit der Streustrahlung und mit der Vergrößerung des durchstrahlten Volums allein ist hier meines Erachtens nichts zu erklären; daß beide genannten Faktoren an dem auffallenden Ergebnis beteiligt sind, versteht sich von selber.

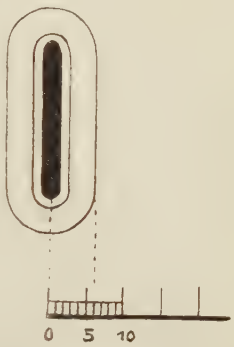


Abb. 6. Schema eines Radiumpräparates. Zeigt „Fokal"-Distanz und „Oberflächen"-Distanz.

Übrigens ergaben die Versuche von Friedrich und Glaser, daß auch die absolute Dosis durch die Streustrahlung im Wasserphantom erhöht wird, und zwar in folgender Weise:

Tabelle 5.

Abstand in cm	1	2	3	4	5	6	8
Dosis bezogen auf 100.	100	23,2	10,4	5,4	3,3	2,2	1,2
Absolute Dosis	108	25	11,2	5,8	3,6	2,4	1,3
Differenz	8%	8%	8%	8%	9%	9%	9%

Bei den langen Präparaten lauten die entsprechenden Zahlen:

	108	34,6	16,8	10,0	6,0	4,5	2,6
Differenz	8%	7%	7%	7,5%	7,5%	7%	8%

Wenn wir nun auch hier den Vergleich mit den Berliner und Dresdener Zahlen versuchen, so gelingt das nur auf dem Wege der Umrechnung, weil wir von der Dosis in Berührung mit dem Radiumröhrchen ausgehen müssen. Ich wähle dazu folgenden Weg (s. Skizze Abb. 6):

In 10 mm Abstand soll die Intensität 100 betragen, in 6 mm beträgt sie dann

$$\frac{100 \cdot 10^2}{6^2} = 289.$$

Und weiter: wenn in 20 mm Abstand die Intensität 23,2 beträgt, so in 16 mm

$$\frac{23{,}2 \cdot 20^2}{16^2} = 36.$$

Und endlich: wenn in 30 mm Abstand die Intensität 10,4 beträgt, so in 26 mm

$$\frac{10{,}4 \cdot 30^2}{26^2} = 14.$$

Stellt man die Zahlen nebeneinander und vergleicht sie, so erhält man die Intensitäten

289 : 36 : 14 : 6,7
1 : 8 : 20 : 40

Wenn man bedenkt, daß das Röhrchen, welches hier ausgemessen wurde, zweifellos länger war als das Berliner (2,28 cm gegen 1,5 cm) und erheblich kürzer als das lange Dresdener (2,28 cm gegen 5,1 cm), so versteht man sehr wohl die Abweichungen, die im ganzen nicht groß sind, sich aber den von mir für das lange Dresdener Präparat gegebenen Zahlen nähern (1:8:22,5:36).

Ich glaube, daß diese Umrechnung sich gelohnt hat, weil wir daraus erkennen, daß an sich die Methoden der Messung oder der Berechnung gleichwertig sind und **daß wir mit den Zahlen, wie sie bis jetzt vorliegen, in der Praxis Dosierungen wirklich vornehmen können.**

Wir wollen aber weiter noch die Zahlen von Seitz und Wintz und v. Seuffert an uns vorüberziehen lassen, um wirklich alles zu tun, was zu einer einheitlichen Dosierung führen kann. Erst dann wollen wir zu den absoluten Werten unsere Zahlen übergehen.

Seitz und Wintz geben folgende Übersicht:

Tabelle 6.

mg	Zeit	Dosis in 2 cm	3	4	5	6
140,3	11,5 Std.	110%	55%	33%	23%	16%
140,3	22 „	—	110%	69%	48%	36%
98,7	18 „	110%	53%	31%	20%	14%
98,7	33,5 „	—	110%	67%	43%	33%

Stellt man diese Angaben denen von Friedrich und mir gegenüber, so ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 7.

Dosis in cm	1	2	3	4	5	6	
Nach S.-W.	—	100%	50%	30%	21%	14%	alle Werte sind auf 100% in 2 cm Abstand umgerechnet.
„ Friedrich .	—	100%	45%	22%	14%	9,5%	
„ Lahm	—	100%	45%	25%	16%	11%	

Die Zahlen von Friedrich und mir sind fast absolut gleich, die Zahlen von Seitz und Wintz liegen durchweg etwas höher und weichen auch erheblich von dem Tiefenwirkungsgesetz ab, das uns die Bummsche Klinik beschert hat. Trotzdem sind natürlich die Unterschiede an sich nicht erheblich, und wenn man bedenkt, daß die 55%, welche

Seitz und Wintz bei Anwendung von 140,3 mg Radium in 3 cm Abstand (rechnerisch!) gefunden hatten, sich bei der Bestrahlung de facto als zu hoch erwiesen haben (beträgt doch die Bestrahlungszeit, wie Tabelle 6 ergibt, für 110% statt $2 \times 11{,}5 = 23$ Stunden nur 22 Stunden), so kommt man mehr und mehr zu den Zahlen, die ich bzw. Friedrich mitgeteilt haben.

v. Seuffert gibt seiner Meßtabelle, inwelcher Fokal- und Flächenbestrahlung je nach der Länge des Ra-Präparates unterschieden wird, folgendes Aussehen:

Tabelle 8.

Dosis bei	Fokalbestrahlung (0,5 cm lang)	Flächenbestrahlung (3 cm lang)
In 0,2 cm	137,22	16,9
„ 1,2 „	8,2 = 340%	5,0 = 250%
„ 2,2 „	2,4 = 100%	2,0 = 100%
„ 3,2 „	1,1 = 47%	1,0 = 50%
„ 4,2 „	0,6 = 25%	0,58 = 29%
„ 5,2 „	0,38 = 16%	0,36 = 18%
„ 6,2 „	0,28 = 10,5%	0,25 = 12,5%

Auch hier erkennt man wieder, obwohl eine Umrechnung der Werte auf 1 und 2 cm statt auf 1,2 und 2,2 cm nicht mehr vorgenommen wurde, daß die prozentualen Dosen kaum von den früher festgestellten (Tabelle 7) abweichen. Das Verhältnis der Tiefendosen ist allerdings wesentlich anders, als wie es in den Berliner Zahlen zum Ausdruck kommt. Der Vergleich ist hier leicht, weil auch v. Seuffert nicht mit „Fokalabstand", sondern mit Entfernungen von der Oberfläche des Radiumröhrchens rechnet; die 0,2 cm „Grundabstand" sind als Maß des Sekundärfilters anzusehen.

Berliner Verhältnis	1:6 :15 : 36
München: Fokalbestr.	1:17 :57 :125
Flächenbestr.	1:3,4:8,5:17

Diese erheblichen Differenzen sind sehr auffallend. Sie sind meines Erachtens aber auf die ersten Zahlen in der v. Seuffertschen Tabelle zurückzuführen, welche bei der Fokalbestrahlung zu hoch und bei der Flächenbestrahlung (vielleicht) etwas zu niedrig angesetzt sind.

Endlich möchte ich in diesem Zusammenhange noch Martius erwähnen. Er hat sich um die Radiumdosierung sehr verdient gemacht, indem er ähnlich, wie ich es hier tue, die Ergebnisse der verschiedenen Autoren einer vergleichenden Kontrolle unterwarf und dabei zu dem Resultat kam, daß wir bei einigermaßen gutem Willen schon heute in der Lage seien, einheitlich zu dosieren. Von da bis zur einheitlichen Dosierungsangabe sollte aber meines Erachtens nur noch ein Schritt sein.

Martius gibt in seiner zitierten Arbeit übrigens zum ersten Male den Grund an, weshalb beim Radium die rechnerisch gewonnenen Zahlen — wenn die Berechnungen nur hinreichend genau sind — mit den gemessenen so auffallend gut übereinstimmen. Es konnte nämlich Grebe zeigen, daß die Streustrahlung im Gewebe die Absorption ungefähr kompensiert, so daß rechnerisch nur die geometrisch bedingte Abnahme der Intensität zu berücksichtigen ist.

Das gilt natürlich für alle Präparate; in der einfachsten Form des Quadratgesetzes natürlich nur für konzentrierte Präparate. Martius aber geht noch einen Schritt weiter. Er wendet rechnerisch stets das einfache Quadratgesetz an, wonach die Inten-

sität mit dem Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkt der strahlenden Substanz abnimmt.

Dieser Entschluß muß überraschen. Doch hält Martius uns folgende Zahlenwerte entgegen:

Tabelle 9.

Dosen eines kurzen Präp. in cm	1	2	3	4	5	6
Nach Friedrich:	100	23,2	10,4	5,4	3,3	2,2%
Nach Martius berechnet:	100	25	11,1	6,2	4,0	2,8%
Dosen eines langen Präparates (wie oben)	—	32,4	15,7	9,3	5,6	4,2%
	—	32,4[1])	14,4	8,1	5,2	3,6%

und hält die Abweichungen vom Quadratgesetz für zu unerheblich, um die weit größeren und zeitraubenden Berechnungen, wie ich sie seinerzeit durchgeführt hatte, für berechtigt zu halten.

Nur eines hat der Radiotherapeut zu berücksichtigen (Anmerkung der Tabelle!), er muß die Erythemdosis bei allen Präparaten, welche länger als 2 cm sind, nicht bei 1 cm, sondern bei 2 cm Abstand bestimmen (biologische Eichung). Schema der Ausführung nach Krönig-Friedrich s. Abb. 7.

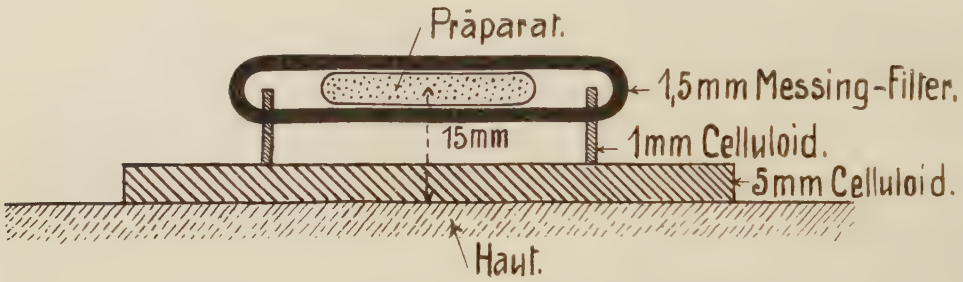


Abb. 7. Eichung eines Radiumpräparates an der Haut.
Nach Krönig-Friedrich, Grundlagen.

Beispiel:

1. Radiumpräp. A: 1,5 cm lang; Erythemdosis bei 1 cm Abstand vom Mittelpunkt der strahlenden Substanz: 8 Stunden. Dann muß

bei	2 cm	3 cm	4 cm	Abstand
	$4 \times 8 = 32$	$9 \times 8 = 72$	$16 \times 8 = 128$	Stunden

bestrahlt werden, wenn Erytheme in dem betreffenden Abstand auftreten sollen.

2. Radiumpräp. B: 2,7 cm lang; Erythemdosis in 2 cm Abstand: 24 Stunden. Dann muß

bei	3 cm	4 cm	5 cm	Abstand
	$^9/_4 \times 24 = 54$	$^{16}/_4 \times 24 = 96$	$^{25}/_4 \times 24 = 150$	Stunden.

bestrahlt werden, wenn Erytheme in dem betreffenden Abstand auftreten sollen.

Es muß zugegeben werden, daß der Vorschlag von Martius mit größter Einfachheit den der genügenden Genauigkeit verbindet. Um rasch am Krankenbett die annähernd notwendige Radiumdosierung zu überschlagen, ist er zweifellos ausgezeichnet. Trotzdem möchte ich vorschlagen, für die endgültige Berechnung so genau wie überhaupt möglich zu verfahren.

[1]) Die Zahl ist der gemessenen gleichgesetzt.

Bevor wir nun zu einem endgültigen Einheitsvorschlag übergehen, wollen wir noch die absoluten Radiumdosen der Autoren miteinander vergleichen. Folgende Tabelle 10 mag die notwendige Übersicht geben:

Tabelle 10 (fokale Bestrahlungen).

Autor	mg Ra.-El.	Abst. cm	Bestr.-Zeit	Erythem	mgeh/cm	mgeh
Adler	50	0,36	1½ Std.	1°	577	75
	35	0,41	3—5 (!) „	1°	600—1000	100—160
	30	0,37	4—5 „	1°	880—1100	120—150
Seitz-Wintz	51,5	3,0—3,5	82 Std.	1°	470— 352	4123
	98,7	3,0—3,5	33 „	1°	264— 363	3257
Kehrer	35	0,4	3½ Std.	1°	752	112
	54	0,4	2¼ „	1°	760	121
	68	0,4	1¾ „	1°	740	119
Hauschting-Zander	40	0,4	2 Std.	1°	500	80
	26	0,4	4 „	1°	580	94
	15	0,4	8 „	1°	750	120
Martius	45	1,0	6 Std.	1°	270	270
	45	2,0	48 „	1°	540	2160

Aus dieser Tabelle erkennt man deutlich, daß leider hinsichtlich der absoluten Werte in der Dosierungsangelegenheit noch arge Lücken klaffen. Betragen doch die Unterschiede zwischen den Dosenangaben von Adler-Kehrer und Seitz-Wintz 100 und über 100%! Wie sich das erklärt, ist vorerst noch vollständig in Dunkel gehüllt[1]). Man könnte daran denken, daß die Präparate von Adler und Kehrer sehr stark mit Barium verunreinigt wären, wodurch ein großer Teil der Aktivität (100%) verlorenginge. Für das Adlersche Präparat (Nr. 31) könnte das zutreffen (es enthält 62 mg $RaBaSO_4$, welches nur 12% ist), von dem Kehrerschen Präparat ist mir eine solche Zusammensetzung nicht bekannt. Aber wenn in derartigen Dingen die Ursache der enormen Unterschiede in der Erythemdosis gesucht werden muß, so ist natürlich klar, daß die reine Berechnungspraxis nicht anwendbar ist. Auf alle Fälle muß von jedem Präparat die Erythemdosis bestimmt werden (biologische Eichung).

Auf einen Punkt muß ich noch aufmerksam machen, um ja nicht durch diese Betrachtungen evtl. den Anlaß zu geben, in Zukunft zu schwach zu dosieren. Wir haben oben gehört, daß Adler die Karzinomdosis auf ca. $^1/_2$ der Erythemdosis angibt. Auch wir in Dresden rechnen für die Mehrzahl der Kollumkarzinome mit einer Empfindlichkeit von etwa 3—400 mgeh/cm, also 50% der H.E.D. Diese Übereinstimmung ist auffallend. Und wenn wir die Angaben v. Seufferts, Schautas u. a. zugrunde legen, wonach das Kollumkarzinom von 3 cm Ausdehnung mit 50 mg Radiumelement in 48 Stunden zu heilen ist, so kommen wir auch auf 268,8 mgeh/cm, eine Dosis, welche ganz gut zu unseren Vorstellungen paßt. Aber gerade weil hier die Übereinstimmung der Beobachtungen und Zahlenangaben so auffallend ist, möchte ich davor warnen, nun einfach die Erythemdosis niedriger anzusetzen, als wie sie Adler, Kehrer und zum Teil auch Bumm gefunden haben. Ich meine: es sollten noch einmal überall die Dosen nachgeprüft werden, welche zur Erzielung des Erythems bei genau bekannten physikalischen und mathematischen Bedingungen notwendig sind; eine

[1]) Siehe Nachtrag auf S. 568.

Änderung von 10 Minuten in der Bestrahlungszeit und von 0,2 cm im Abstand machen ja soviel aus und sind für diese Fragen doch so wichtig!

4. Einheit der Dosis.

Eine Einheit der Dosis ist auf Grund unserer Ausführungen heute schon möglich. Wir brauchen auf der einen Seite nur den Vorschlag von Martius anzunehmen und auf der anderen Seite nach den Dosenangaben von Friedrich oder mir[1]) zu berechnen, so ist für die Praxis vollkommen vorgesorgt. Ich möchte im folgenden die praktischen Grundlagen für diese Einheit der Dosis in Gestalt von 2 Kurven (Abb. 8 und 9) und einer Tabelle geben.

Tabelle 11. Dosierung bei Fokal- und Flächenbestrahlung.

Abstand	Kurzes Präparat				Langes Präparat			
	absol. Wert gemessen n. Friedrich	absol. Wert in % n. Lahm	Bestrahlungszeit n. Martius	Dosis n. Martius	absol. Wert gemessen n. Friedrich	absol. Wert in % n. Lahm	Bestrahlungszeit n. Martius	Dosis n. Martius
1 cm	108	116	m	100	108	51 (102)[2])		
2 „	25	29	4 × m	25	34,6	18 (36)	m	100 (35)[2])
3 „	11,2	12	9 × m	11,1	16,8	9 (18)	$^9/_4$ × m	44 (16,2)
4 „	5,8	6,5	16 × m	6,2	10,0	5,6 (11,2)	$^{16}/_4$ × m	25 (8,8)
5 „	3,6	4,1	25 × m	4,0	6,0	3,7 (7,4)	$^{25}/_4$ × m	16 (5,6)
6 „	2,4	2,8	36 × m	2,8	4,5	2,7 (5,4)	$^{36}/_4$ × m	11,1 (4,0)
8 „	1,3	1,6	64 × m	1,6	2,6	1,6 (3,2)	$^{64}/_4$ × m	6,2 (2,2)

Nachtrag bei der Korrektur.

Die Widersprüche, welche sich in bezug auf die Absolutwerte der Dosen in den bisherigen Ausführungen erkennen ließen, haben in allerneuester Zeit eine sehr interessante Aufklärung durch Martius erfahren. Martius konnte feststellen, daß nach „absoluten Einheiten“ (in „Röntgen“) gemessen, die Erythemdosen in 27 deutschen Röntgeninstituten derart schwanken, daß der niedrigste und höchste Wert sich wie 1 : 4 verhalten. Mit anderen Worten: Was der eine schon ein Erythem nennt, ist für den anderen „noch gar nichts“.

Ich habe nun im Röntgeninstitut der Frauenklinik Dresden ebenfalls die Erythemdosis nach Röntgeneinheiten (R) gemessen und komme zu einem Werte von etwa 1000 R. Wenn man nun bedenkt, daß wir in Dresden von der Erythemdosis ausgingen, welche wir mit unseren Radiumpräparaten erhalten hatten, und wenn man mit Martius 600 R. als „mittlere Gebrauchserythemdosis“ ansieht, so steht fest, daß wir sowohl bei der Radium- wie bei der Röntgenbestrahlung mit einer ganz einheitlichen, aber 40 % über der mittleren Dosis gelegenen Intensität bestrahlt haben. Stellt man nun die Erytheme der Kliniken Seitz, Kehrer, Bumm, v. Franqué nebeneinander, so ergibt sich folgendes Bild (Tabelle 11a).

Tabelle 11a. Strahlenintensität für die Radium- und Röntgenerytheme.

Klinik	Radiumerythem	Röntgenerythem
Seitz	264—470 mgeh/cm	390 R
Kehrer	750 „	1000 R
Bumm	500—750 „	800 R
v Franqué.	270—540 „	435 R

[1]) Die Zahlen sind aus meiner „Radiumtiefentherapie“ Steinkopff 1921 entnommen.
[2]) In Klammern sind die Werte beigefügt, welche den Vergleich der Zahlenreihen erleichtern.

Daraus geht mit aller Deutlichkeit hervor, daß in jeder Klinik eine bestimmte Erythemdosis vorhanden ist, welche der „Bestrahlungstradition" entspricht, daß aber ungeachtet dessen von Klinik zu Klinik Differenzen bestehen, welche fast unglaublich scheinen, welche aber durch die Messungen von Martius einwandfrei feststehen.

Ich möchte nun an dieser Stelle gleich den Schluß ziehen, den auch Martius gezogen hat, für die Radiumdosierung zu einer „mittleren Gebrauchserythemdosis" überzugehen. Ich würde sie — nach den Dresdener Erfahrungen — durch den Wert 450 mgeh/cm charakterisiert sehen. Mit anderen Worten:

ein konzentriertes Präparat (bis 1,5 cm lang) **gibt — mit entsprechender Filterung — bei 1 cm Fokaldistanz die Erythemdosis bei 450 Milligrammstunden;**

ein langgestrecktes Präparat (über 1,5 cm) **muß, um in 2 cm Abstand ein Erythem zu ergeben, etwa 3 mal länger liegen** (32,4 : 100).

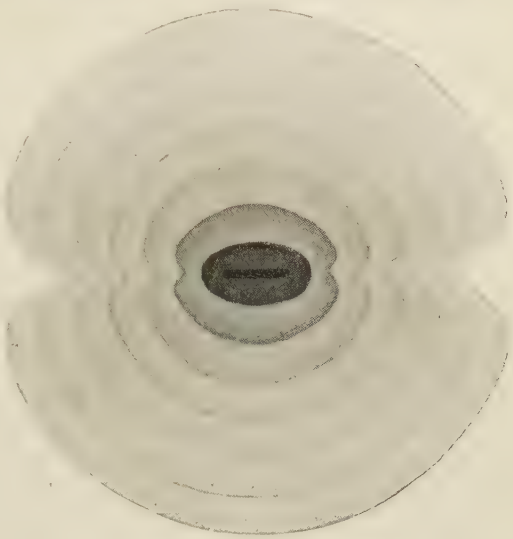


Abb. 8. Fokalbestrahlung. Der Verlauf der Isodynamen oder Isodosen um ein kurzes Radiumpräparat (s. Tabelle XI).

Mit dieser neu geschaffenen Basis stimmt sehr gut überein, was wir bisher über die Radiumempfindlichkeit der Karzinome wissen. Seitz und Wintz haben bekanntlich die Karzinomdosis mit 110% der Erythemdosis (obere Grenze) angenommen. Wir selbst haben bestimmt, daß die mittelreifen und unreifen Karzinome eine Empfindlichkeit von 250—1000 mgeh/cm aufweisen mit einem Maximum um 4—500 mgeh/cm, was nach der neuen Berechnung 100—110% der Erythemdosis entspricht. Diese Übereinstimmung scheint mir — sowenig ich an dem Begriff der „Karzinomdosis" sonst festhalte — von größter Bedeutung, weil damit erstmalig sich auch die Differenzen der Strahlenempfindlichkeit der Kollumkarzinome gegen die Röntgen- bzw. die Radiumstrahlen aufklären. Gleichzeitig aber erhält dadurch der Vorschlag von Martius, die

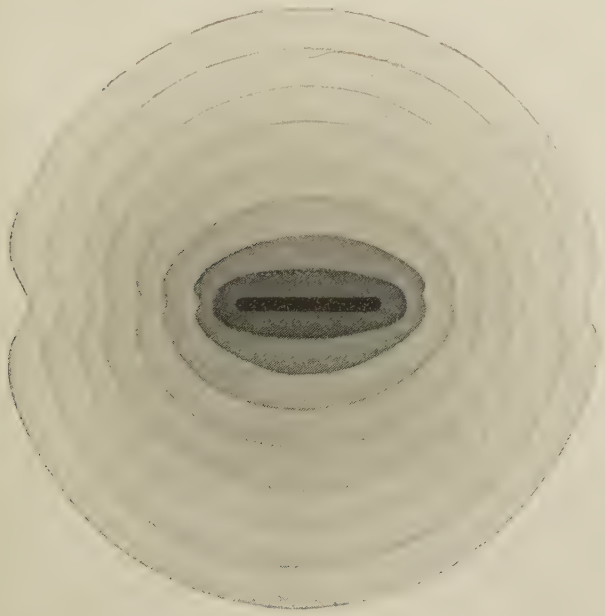


Abb. 9. Flächenbestrahlung. Der Verlauf der Isodynamen oder Isodosen um ein langgestrecktes Radiumpräparat.

Erythemdosis mit 600 R. festzusetzen, eine sehr wesentliche sachliche Unterstützung, so daß ich unbedingt für die Annahme seiner „mittleren Gebrauchserythemdosis" eintrete.

5. Die Reizsummation und das Zeitproblem.

In unseren bisherigen Betrachtungen haben wir bestimmte Dosen für das Hauterythem und für die Vernichtung des Karzinoms angegeben, wobei als Voraussetzung angenommen wurde, daß die Bestrahlung in einer Sitzung erfolge (Dauerbestrahlung). Sobald die gleiche Dosis unter Einschaltung von Pausen verabreicht wird (Dosis refracta), verändern sich die Verhältnisse von Grund auf. Auch ist von vornherein nicht zu sagen, was im einzelnen geschieht. Drei Möglichkeiten stehen offen:

a) es kann trotz insgesamt gleichbleibender Dosis ein Minus im biologischen Erfolg eintreten. Man spricht in solchen Fällen von verzettelter Dosis;

b) es kann trotz Verteilung der Gesamtdosis auf mehrere Sitzungen der volle biologische Erfolg eintreten; man bezeichnet das als Reizsummation;

c) es können Dosen, welche an sich keinerlei biologischen Erfolg haben, durch häufige Wiederholung zu einem solchen führen. Man spricht in diesen Fällen von Reizkumulation, wobei die Frage offenbleibt, ob es sich um eine einfache Summation oder um ein wirkliches Plus in der Reizgröße handelt (Elektivwirkung).

Die genaue Verfolgung der Verhältnisse, die wir eben besprochen haben, stellt das sog. Zeitproblem dar. In die Praxis übersetzt heißt das:

a) man muß über eine genaue Kenntnis der erlaubten Pausen verfügen, welche die volle Reizsummation nicht verhindern;

b) man muß die Bedingungen erforschen, welche für die Elektivität der Strahlenwirkung von Wichtigkeit sind (Reizkumulation).

Als grundlegend für das Problem der Reizsummation möchte ich die Arbeit von R. Werner bezeichnen, der erstmalig in tierexperimentellen Versuchen dartun konnte, daß bei mittlerer Dosierung ein Zwischenraum von 4—5 Tagen nicht überschritten werden darf, wenn eine volle Summation der Dosen eintreten soll.

Weiterhin haben Waeber und Hauschting-Zander in sehr verdienstvoller Weise Material zusammengebracht, welches im großen und ganzen die Tierversuche Werners beim Menschen bestätigt und ergänzt. Folgende Zahlenwerte dürfen heute als feststehend angenommen werden:

Tabelle 12.

$^2/_3$	H.E.D.	+ $^1/_3$	H.E.D.	getrennt	durch	Pause	von	17	Tg.	geben	volle	H.E.D.
$^1/_2$	„	+ $^1/_2$	„	„	„	„	„	10	„	„	„	„
$^1/_3$	„	+ $^2/_4$	„	„	„	„	„	6	„	„	„	„
$^1/_{10}$	„	+ $^9/_{10}$	„	„	„	„	„	1	„	„	„	„

Die in dieser Tabelle auftretende Latenzzeit bezeichnet man zweckmäßig nach einem Vorschlag von Bumm als Wirkungszeit. Hauschting unterscheidet eine Vollwirkungszeit und eine Nachwirkungszeit. Die hier gegebene Tabelle gilt für die Vollwirkungszeit; über die Nachwirkungszeit - wo auch eine gewisse Summation zu erwarten ist — liegen bisher genauere Zahlen nicht vor, doch kann allgemein gesagt werden, daß 5—6 Wochen nach einer Bestrahlung, deren Größe unter einer H.E.D. liegt, jede Wirkung abgeklungen ist. Es stimmt das mit Beobachtungen, welche wir in Dresden schon vor Jahren gemacht haben, überein.

Eine Bestrahlungsserie gilt als abgeschlossen, wenn die nach Art und Ausdehnung des Karzinoms festgelegte Milligrammstundenzahl erreicht ist.

Eine zweite, selbst eine dritte Serie kann dieser ersten Bestrahlung folgen, ja es ist vielleicht sogar besser, wenn sie prinzipiell angewendet wird, falls nicht irgendwelche anatomischen Verhältnisse eingetreten sind, welche sie unmöglich machen. (Atresie des Cavum uteri, Parametritis, Adnexitis.)

Oft tritt während einer Bestrahlung Fieber ein, dann ist natürlich die Serie zu unterbrechen. Dauert es längere Zeit, bis die Temperatur zur Norm abfällt, so kann eine sehr unerwünschte Verzettelung der Dosen die Folgen sein. Treten beim zweiten oder dritten Versuch mit Radium zu bestrahlen immer wieder Fiebererscheinungen auf, so ist es zweckmäßig, die Radiumbestrahlung abzubrechen und Röntgenbehandlung anzuwenden. Die neue Methode ist dann bereits als eine kombinierte Behandlung anzusehen, selbst wenn die Radiumdosis sehr klein war.

Das Problem der Kumulation bzw. das der elektiven Einwirkung der Strahlen auf das Karzinom hat vor allem Adler bearbeitet. Von dem Gedanken ausgehend, daß das Karzinom doppelt so empfindlich sei wie das normale Epithel bzw. das Bindegewebe, glaubte er durch intermittierende Bestrahlung die Einwirkung auf das Karzinom ganz wesentlich gegenüber der Einwirkung auf das Bindegewebe steigern zu können. Auf Einzelheiten seiner Theorie, die zweifellos von großem Wert sein könnte, wenn sie richtig ist, soll hier nicht weiter eingegangen werden, doch mag betont werden, daß auch die Erfahrungen bei der Röntgenbestrahlung für die große Bedeutung der intermittierenden und vor allem der Serienbestrahlung sprechen. Es ist vielleicht kein Zufall, daß Wintz bei seiner „Karzinombestrahlung", die sich im wesentlichen aus drei Sitzungen zusammensetzt, so gute Erfolge aufzuweisen hat; auch möchte ich darauf hinweisen, daß ich selbst auf dem Röntgenkongreß 1924 mitteilen konnte, daß die erfolgreich bestrahlten Karzinomfälle zu 84% diejenigen sind, welche 2- oder 3mal, also in Serien, bestrahlt worden sind.

Alles in allem kann man also die Forderung aufstellen, daß die Radiumbestrahlung sein soll:

1. intermittierend und summierend;
2. eine Serienbestrahlung mit Abständen von je etwa 6 Wochen.

C. Die strahlende Substanz.

1. Fassung und Form.

Wie Fernau gezeigt hat, empfiehlt es sich, die strahlende Substanz in Glasgefäße (Röhrchen, Kapillaren) einzufüllen und diese mit einem dünnen Silber- oder Platinmantel von ungefähr 0,1—0,2 mm Wandstärke zu umgeben. In das Glasröhrchen wird zweckmäßigerweise ein Platindraht eingeschmolzen, der die Aufgabe hat, elektrische Aufladungen der Außenfläche des Glasröhrchens abzuleiten. Glasgefäße und Silbermantel zusammen bezeichnet man als Radiumträger.

Die Radiumträger besitzen eine wechselnde Form und passen sich in der Regel dem Organ an, das bestrahlt werden soll (Racasens, Kurtzahn). Für das Kollumkarzinom kommen stäbchenförmige, kugelige, halbkugelige und plattenförmige Radiumträger in Frage. Die stäbchenförmigen Präparate können gerade sein oder eine leichte Biegung oder Knickung aufweisen. Früher ging man von der Auffassung aus, daß die Anpassung der Form des Radiumträgers an das jeweilig zu bestrahlende Organ bzw. an die Ausbreitung des Karzinoms eine außerordentlich wichtige Forderung sei. Heute müssen wir sagen, daß unser Streben vielmehr darauf gerichtet sein muß, möglichst einfache Formen des Radiumträgers zu schaffen, und zwar deshalb, weil bei jedem kompliziert gestalteten Radiumträger das Strahlenfeld sich verändert und für den prak-

tischen Gebrauch erst neu berechnet oder biologisch ausgewertet sein will. Mit der einfachen Form des Radiumträgers liegt die Dosierung ein für allemal fest. A priori scheint das punktförmige Radiumpräparat oder die Radiumkugel die einfachste geometrische Form zu sein, in der wir das Radiumpräparat anwenden können. Die Strahlen breiten sich dann in Form von Kugelschalen aus, das Feld muß überall im gleichen Abstande von der Kugel die gleiche Intensität besitzen. Die Erfahrung sowohl als auch die messende und berechnende Nachprüfung des Strahlenfeldes bei punktförmigen Präparaten hat aber gezeigt (Friedrich, Lahm, Matzdorf), daß in diesen Fällen ein anderer Faktor sehr unangenehm ins Gewicht fällt, und zwar die Inhomogenität des Strahlenfeldes. Sie fällt bei der praktischen Anwendung der radioaktiven Substanz derartig ins Gewicht, daß man auf die scheinbar ideale Form, die das punktförmige Präparat gibt, verzichtet hat und zu anderen Formen des Radiumträgers übergegangen ist. Als sehr gut für die verschiedenen Arten der Anwendung hat sich das langgestreckte Radiumpräparat bewährt, das allerdings noch weit die Dimensionen des Dominicischen Röhrchens (Abb. 1) überschreitet. Man verteilt die radioaktive Substanz nunmehr auf mehrere Zentimeter Länge (= Fläche) und erreicht dadurch eine Homogenisierung des Strahlenfeldes von beträchtlichem Grade. Wenn es nun noch gelingt, das zu bestrahlende Karzinom in die Mitte des Strahlenfeldes zu bringen oder, mit anderen Worten, das Radiumröhrchen in die Mitte des Krebsherdes zu applizieren, so ist ein idealer Zustand erreicht. Beim Kollumkarzinom macht eine derartige Anordnung zunächst keine Schwierigkeiten, insofern in der Regel der Krebs den Zervikalkanal konzentrisch umwächst. Trotzdem darf man nicht glauben, daß die Einlage des Radiumröhrchens in das Cavum uteri sich vollkommen dem Ausbreitungsgebiet des Kollumkarzinoms anpaßt. In vielen Fällen — ich verweise hier besonders auf die Darstellungen in Kapitel 1 — müssen wir damit rechnen, daß das ganze kleine Becken von mikroskopisch kleinen oder auch größeren Karzinomteilen durchsetzt ist, und unser Ziel muß es sein, das Radiumpräparat so im Becken anzubringen, daß möglichst das ganze Becken gleichmäßig durchstarhlt wird. Ideal würde das Radiumpräparat liegen, wenn es zwischen der Beckeneingangsebene und der Beckenweite in der Führungslinie des Beckens gelegen wäre, denn damit erst wäre die Möglichkeit gegeben, daß auch die iliakalen Drüsen von Radiumstrahlen getroffen würden.

Amreich hat darauf hingewiesen, daß es im allgemeinen unzweckmäßig sei, das ganze Becken gleichmäßig mit Strahlen zu durchsetzen. Er fordert vor allem einen Schutz nach der Blase und dem Rektum und erreicht denselben dadurch, daß er Metallblenden an den Filtern anbringt, welche die Strahlung nach der unerwünschten Richtung absorbieren sollen. Überlegt man sich aber, daß

1. das ganze Lymphgebiet des kleinen Beckens als infiziert angesehen werden muß;
2. jedes, auch mehrere Millimeter dicke Metallfilter sehr wenig von den harten γ-Strahlen wegnimmt (Halbwertschicht für Blei 6 mm!);
3. die Dosierung trotz evtl. besonderer Maßnahmen von vornherein stets so eingerichtet werden muß, daß die Hohlorgane des kleinen Beckens — Blase, Rektum und Ureter — keine schädigende Dosis erhalten,

so erübrigt es sich, in eine Diskussion des Amreichschen Vorschlages einzutreten. Hinweisen möchte ich nur darauf, daß ich selbst Messungen mit solchen Blenden angestellt habe und keine erhebliche Herabsetzung der Dosen feststellen konnte, was meines Erachtens — gewiß nicht im Sinne Amreichs — noch für einen Vorteil dieses Verfahrens zu halten ist.

2. Filterung.

Der Radiumträger als solcher (Glas- und Silbermantel) läßt die α-Strahlung der radioaktiven Substanz schon nicht mehr hindurch oder vermindert ihre Intensität doch auf einen völlig zu vernachlässigenden Bruchteil. Anders steht es mit der β-Strahlung. Sie muß erst durch entsprechende Filterung besonders zurückgehalten werden. Es geschah das in den ersten Versuchen (Dominici, Chéron) mit Platin oder Gold, später verwendete man Blei und Messing. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht, wie stark das Filter sein muß, um die β-Strahlung vollständig zu vernichten. Es ist selbstverständlich, daß man das Filter nicht stärker als unbedingt notwendig wählt, damit nicht auch die therapeutisch so wertvolle γ-Strahlung in unerwünschter Weise abgeschwächt wird.

Tabelle 13.

Metalle	Al.	Messing	Silber	Blei	Gold	Platin
Volle Absorption der β-Strahlen durch	3,5 mm	1,2 mm	1,0 mm	0,9 mm	0,6 mm	0,5 mm

Nicht in allen Fällen scheint es erwünscht, die β-Strahlung vollkommen durch die Filterung wegzunehmen. Wenigstens haben Bumm und Kehrer angegeben, daß die β-Strahlung eine blutstillende Wirkung entfaltet, was bei der Bestrahlung des Kollumkarzinoms oft von großem Vorteil sei. Andere Autoren betonen dagegen, daß die γ-Strahlung, wie sie bei etwas stärkerer Dosierung allein übrigbleibe, die gleiche Wirkung habe. Jedenfalls ist es bei Bestrahlungen vom Zervix- oder Uteruskanal aus nicht schlimm, wenn die β-Strahlung nicht restlos durch die Filterung weggenommen ist; die dicke Muskelwand der Gebärmutter verträgt sie und nimmt zweifellos auch den letzten Rest auf, ehe sie am Beckenbindegewebe schädlich wirken kann. Selbstverständlich bedeutet jeder Zuwachs der Intensität in unmittelbarer Nähe des Radiumträgers eine an sich unerwünschte Verschlechterung der Feldhomogenität. Eine Filterung mit Messing von 0,8—1,0 mm darf als ausreichend angesehen werden.

3. Bestrahlungsapparate.

Eigentliche Bestrahlungsapparate gibt es nach dem, was im vorigen Abschnitt ausgeführt wurde, kaum. Was an solchen bekannt geworden ist, sind eigentlich nur Hilfsmittel für die leichte und sichere Applikation der radioaktiven Substanz; am Bestrahlungsprinzip als solchem wird dadurch in der Regel nichts geändert. Ich möchte im folgenden trotzdem einige Apparate zur Darstellung bringen, welche uns zugleich die Methoden einer Reihe von Kliniken zeigen.

a) Heidelberger Gerät (Menge-Eymer).

Heidelberg bestrahlt „vom ganzen unpaaren Genitalkanal aus", legt also mehrere Präparate der Länge nach hintereinander ins Korpus, in die Zervix und in die Scheide.

Ins Corpus uteri und in den Zervixkanal kommt ein geradegestrecktes Röhrchen von etwa 6 cm Länge. Es enthält hintereinander 2—3 (gewöhnlich 3) Radiumträger von größerer oder geringerer Konzentration. Bei der Bestrahlung eines Kollumkarzinoms kommen die weniger konzentrierten Träger in das Korpus, die stärker konzentrierten in das Kollum. Soll die strahlende Fläche noch mehr vergrößert werden, so wird zwischen die einzelnen Radiumträger durch Zusammenschrauben der Filterhüllen ein Zwischenraum von $^1/_2$ cm gelegt (= einstellige Kreuzfeuerbestrahlung s. S. 581), was aber die Homogenität des Feldes nicht verbessert (s. S. 569).

Ist im Collum uteri ein karzinomatöser Krater vorhanden, so eignet sich dafür ein plattenförmiger oder halbkugeliger Radiumträger. Er wird mit der im Korpus liegenden Röhre fest verbunden.

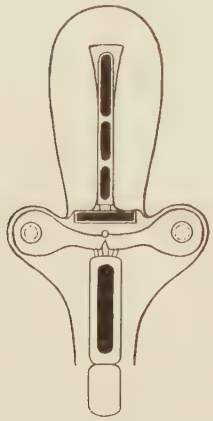


Abb. 10. Heidelberger Gerät. 3 Präp. im Cavum uteri, ein Präp. vor der Portio, eins in der Scheide (in ein Zwanksches Pessar eingelegt). Nach Eymer, C. f. Gyn. 1922.

In die Scheide wird ein langes Präparat längs oder zwei sagittal gerichtete Präparate quer in beide Scheidengewölbe eingelegt. Sie sind stets von einem Hartgummiblock umgeben, um den nötigen Abstand von der Blase und dem Mastdarm zu gewährleisten. Der Hartgummi dient zugleich als Sekundärfilter, welches im Korpus und im Zervikalkanal wegfällt oder jedenfalls wegfallen kann.

Eine Übersicht über derartig eingelegte Präparate gibt Abb. 10.

Die Bestrahlung des Uteruskarzinoms durch Präparate, welche in der Längsrichtung in den Genitalkanal eingelegt sind, gestattet keine weiteren Modifikationen. Dagegen können die sagittal gestellten Präparate durch geeignete Hilfsmaßnahmen so zu der längsverlaufenden Strahlenachse verschoben werden, daß ein „echtes Kreuzfeuer" auf das Karzinom entsteht. Ursprünglich lagen die gedachten Präparate in einem modifizierten Mengeschen Keulenpessar (Abb. 11). Neuerdings scheint man das modifizierte Zwanksche Pessar anzuwenden (Abb. 12), dessen Vorzüge (Möglichkeit der geschlossenen Einführung, nachträgliche Spreizung, nachdem die richtige Lage erreicht ist), sofort ins Auge fallen müssen. Öffnet man das Pessar (Abb. 13), so daß die beiden Flügel sich nach links und rechts bewegen, so gelingt es auf diese Weise, die radioaktiven Präparate bis tief in die Parametrien hineinzudrücken, vorausgesetzt, daß dieselben durch derbe Karzinommassen nicht bereits völlig hart und unnachgiebig geworden sind.

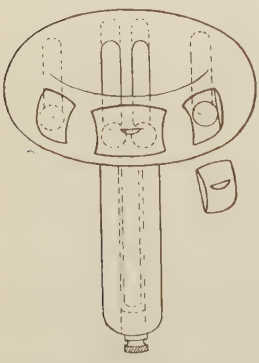


Abb. 11. Mengesches Keulenpessar mit eingelegten Radiumpräparaten.

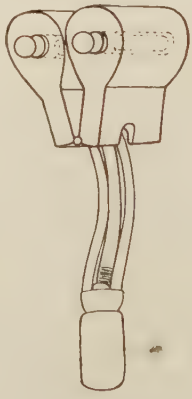


Abb. 12. ZwankschesPessar (geschlossen).

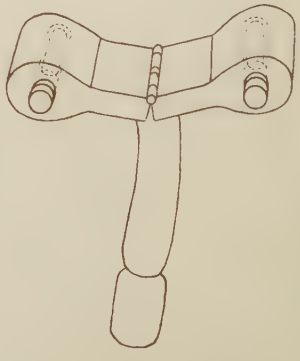


Abb. 13. Zwanksches Pessar geöffnet. In den beiden gespreizten Scheren Radiumpräparate.

b) Berliner Gerät (Bumm-Zander).

In der Bummschen Klinik haben Hauschting und Zander ein Bestrahlungsgerät ausgearbeitet, welches das Resultat ihrer bereits erwähnten Versuche zur Feststellung der Tiefendosis ist.

Es besteht aus einer ca. 6 cm langen Messingröhre, in welche das gestreckte, und zwar kontinuierlich angeordnete Präparat (ununterbrochene Brennlinie) hineingeschoben wird. Am rückwärtigen Ende der Röhre ist eine Platte aufschraubbar, auf der ein oder zwei Präparate mit Stenzmasse fixiert werden können (Abb. 14).

Das Schraubengewinde dient dazu, die jeweilige Länge des Cavum uteri genau einzustellen (vorherige Sondenmessung), die Stenzmasse soll für absolute Festlegung der Präparate in der Scheide und ihre Distanzierung von der Blase und dem Mastdarm sorgen.

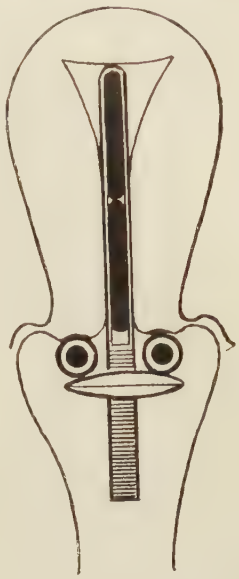


Abb. 14. Berliner Gerät. Radium im Corpus uteri und vor der Portio. Nach Zander, Arch. f. Gyn. 115.

c) Münchener Gerät (Döderlein-v. Seuffert).

Die Münchener Frauenklinik hat bisher einen eigenen Bestrahlungsapparat nicht publiziert. Sie hat lediglich eine Methode, welche physikalisch und medizinisch-klinisch aufs beste durch vielfältige Versuche v. Seufferts begründet worden ist, angegeben, und hat es dem einzelnen überlassen, wie er das als richtig erkannte Prinzip in die Praxis umsetzen will.

Die Münchener Methode könnte man als die „Methode der möglichst verteilten Radiumsubstanz" bezeichnen, d. h. auch sie verwendet intrauterin langgezogene Präparate, bestrebt indessen dazu eine Wirkung von außen von der Bauchwand her durch die Bestrahlung mit großen Radiumkapseln (perkutane Bestrahlung). Nicht Radiumkanonen sind es, wie sie seinerzeit Krönig angegeben hatte, sondern Platten, auf welchen die strahlende Substanz ganz gleichmäßig in der feinsten Weise verteilt ist. Man kann diese Radiumträger für längere Zeit ziemlich nahe an die Haut heranbringen (1,2 cm), ohne eine Verbrennung befürchten zu müssen.

d) Dresdener Gerät (Radiumkapillare nach Kehrer-Lahm).

In Dresden ist man auch auf dem Wege eigener systematischer Untersuchungen zu dem neuerdings fast allgemein anerkannten Prinzip der Dezentralisation der radioaktiven

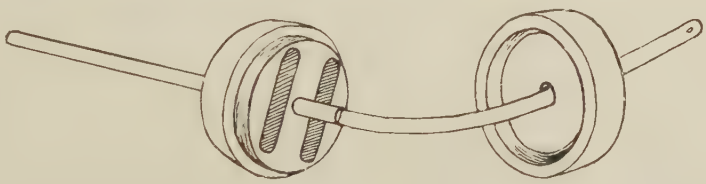


Abb. 15. Dresdener Gerät. Radiumkapillare mit Hartgummiblock (aufschraubbar) auf Gleitschiene.

Substanz gekommen. In Dresden bildete der Ausgangspunkt für die neue Richtung die mathematische Berechnung der Impulsstärke, wie sie Kehrer mit Rübsamen für konzentrierte Präparate unter Annahme eines punktförmigen Radiumfokus angestellt hatte. Es wurde von mir mit Hilfe einer Reihenberechnung, indem ich der Längenausdehnung aller bisher verwendeten Radiumpräparate Rechnung trug, versucht, die Inten-

sitätswerte in der Umgebung der Präparate genauer festzustellen. Dabei ergab sich, daß, wenn man die Radiumpräparate auf 5 und 6 cm Länge sich verlängert dachte, ein Strahlenfeld entstand, dessen Homogenität gegen früher ganz außerordentlich in die Augen stach. Indem nun die Punkte gleicher Intensität in der Umgebung des Radiumpräparates durch Linien verbunden wurden (Isodynamen), entstanden Kurven, welche mit großer Sicherheit die Dosierung ermöglichten (Abb. 8 u. 9 S. 569).

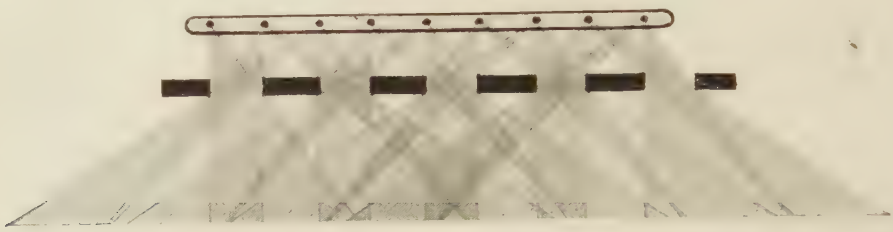


Abb. 16. Einfluß der unterbrochenen Dickfilterung auf das Strahlenfeld. Dicht bei der Filterung Absinken der Intensität, in größerer Entfernung durch Überkreuzung der Strahlung Steigerung der Intensität.

Außer den intrauterin einzulegenden Radiumkapillaren verwendet auch die Dresdener Frauenklinik Vaginalpräparate, und zwar werden dieselben in einen Hartgummiblock eingelegt, der wie ein Klingelknopf zum Verschrauben eingerichtet ist (Abb. 15) und einen Mindestabstand der Präparate vom Gewebe von 1 cm garantiert.

Das Einlegen dieses vaginalen Blocks geschieht mit Hilfe einer Gleitschiene, deren Anwendung und Bedeutung man aus der Abb. 15 leicht erkennt.

In neuester Zeit hat Verfasser noch ein weiteres Bestrahlungsgerät konstruiert, welches bisher aber noch nicht praktisch erprobt ist. [Wie ich während der Korrektur (20. Dezember 1924) erfahre, ist im Jahre 1914 von Ernst Pohl in Kiel ein Patent eingereicht worden (Nr. 346 404), welches die Radiumbestrahlung in ähnlicher Weise vorschlägt. Dort heißt es: „Der der Erfindung zugrunde liegende Gedanke besteht nun darin, die nicht auf die zu bestrahlende Fläche treffenden Strahlen abzublenden, weil sie nur nutzlos die dem Präparat mehr benachbarten Stellen des Körpers bestrahlen und in diesem zu einer erheblichen schädlichen Überbestrahlung führen". Es wird vorgeschlagen, das Radium fokal zu verteilen, was aber wohl Schwierigkeiten macht und keine Vorzüge gegen die kontinuierliche Brennlinie bietet.] Es ist im Prinzip nach dem Zwankschen Pessar gebaut. Der Längsteil desselben enthält das Radiumpräparat Nr. 1 in einem ca. 0,7 cm dicken Bleimantel, der siebförmig nach allen Seiten durchbohrt ist. Dadurch wird erreicht, daß die Intensität der Strahlung in der Nähe des Präparates noch mehr abgeschwächt wird (siehe die schematische Abb. 16), in der Tiefe des Gewebes aber durch Überkreuzung der frei austretenden Strahlen noch eine genügende Strahlenintensität erlangt wird. Mit Hilfe des Apparates kann man sehr hohe Dosen auf einmal anwenden und erhält trotzdem ein Strahlenfeld von ganz unerwarteter Homogenität. Die Isodynamen wie ich sie berechnet habe, ergeben ungefähr folgendes Bild (Abb. 17). Die beiden seitlich, und zwar beweglich angebrachten Vaginalpräparate sind in der gleichen Weise mit Blei umhüllt wie das Mittelstück, sind aber nur mit 0,4 cm dickem Bleimantel umhüllt. Sie werden durch Auseinanderfaltung des Pessars möglichst tief in die Parametrien hineingeschoben.

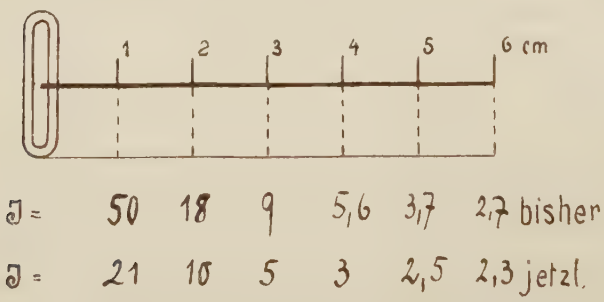


Abb. 17. Intensitätsverhältnis bei diskontinuierlicher Bleifilterung.

Der Hauptvorzug dieses neuen Gerätes ist neben der Homogenisierung des Strahlenfeldes seine Anwendung lediglich von der Scheide aus. Es werden dadurch voraussichtlich die leider immer noch häufigen Infektionen und Fiebererscheinungen, welche durch intrauterine Einlage der Radiumpräparate entstehen, vermieden (Bumm).

Nachteilig an dem Instrument scheint zunächst zu sein, daß es recht schwer ist und daß es nicht so sehr in die Mitte des Karzinomgebietes im kleinen Becken gebracht werden kann, wie das für die intrauterin eingelegten Präparate gilt. Immerhin scheint mir die Verteilung der Strahlenenergie im Becken nicht ungünstig, wenn es nur gelingt das Instrumentarium entsprechend hoch und die beiden Seitenteile entsprechend weit nach dem Parametrium vorzuschieben.

Es mag betont sein, daß die Oberfläche des Instrumentariums vollkommen glatt ist, weil die lochförmigen Durchbohrungen des Bleies zum Abfangen der Sekundärstrahlung mit 1 mm Aluminium überzogen sind.

Abb. 18. Nadelförmige Radiumträger und ein sog. „Radium-Element".

4. Die Fassung der radioaktiven Substanzen.

Aus dem Vorhergehenden ist die Art der Fassung der radioaktiven Substanz in ihren Hauptzügen bereits zu übersehen. Außer den röhrenförmigen Behältern kommen vor allem die Plattenbehälter in Frage, deren Dicke, Größe und Form in der verschiedensten Weise variiert werden kann.

Endlich sind als Spezialform noch die Radiumnadeln zu erwähnen. Es sind das röhrenförmige Radiumträger von ungefähr 1,2 mm Durchmesser und 20—30 mm Länge, welche an der einen Seite eine scharfe Spitze, an der anderen Seite eine Öse besitzen

Abb. 18a. Spickmethode der Kollumbestrahlung (kombiniert mit Radiumtubus). Nach Delporte u. Cahen.

(Abb. 18). Die radioaktive Substanz ist im Innern dieser Nadeln in feinster Weise verteilt. Sie dienen dazu, in die Tumoren eingestochen zu werden (Spickmethode, s. Abb. 18a nach Delporte), und man erwartet einen um so größeren Erfolg, je ausgiebiger man eine Geschwulst mit diesen Nadeln durchsetzen kann. Die Hülle der Nadeln besteht aus Platiniridium.

In neuester Zeit hat man (Radiumchemie A.-G. Frankfurt a. M., Reiniger, Gebbert

u. Schall) die radioaktive Substanz, um Umfüllungen, Neufassungen usw. zu vermeiden, in kleinste „Zellen" eingebracht, welche je etwa 1—2,5 mg Radiumelementaktivität besitzen und eine Dicke von 0,65 mm und eine Länge von 11 mm aufweisen (Abb. 18). Um eine Nadel zu füllen, braucht man 1 oder 2 oder 3 derartige Zellen. Um einen röhrenförmigen Behälter zu „laden" 5, 6, 10 und mehr solcher Zellen; und ebenso für die Plattenbehälter. Diese Neuordnung im Gebrauch der radioaktiven Substanz scheint mir außerordentlich empfehlenswert, weil man jede gewünschte Form und Ausdehnung der Präparate schnell und leicht herstellen kann.

D. Hilfsinstrumente.

Die Radiumeinlage gestaltet sich im allgemeinen nicht schwieriger als die Einlegung eines Lamiariastiftes oder eines Pessars, wenn auch das Suchen des Zervikalkanals manchmal Mühe macht (die Berliner Frauenklinik legt in Narkose ein!). Trotzdem ist eine ganze Reihe von Hilfsinstrumenten in Gebrauch, deren Anwendung für die Erleichterung des praktischen Betriebes durchaus sich empfiehlt. Die Dilatation des Zervikalkanals geschieht mit Metalldilatatoren, welche die Heidelberger Schule (Eymer) durchbohrt verwendet, um das Hinaufpressen von etwa infiziertem Uterusinhalt in die

Abb. 19. Flatausches Radiumspekulum. Das Hilfsinstrument dient zum Einführen, das Spekulum nimmt dann das Radium auf.

Tuben sicher zu vermeiden. Das Radiumröhrchen selbst wird mit einer Zange eingeführt, die nachfolgende Einführung des vaginalen Hartgummiblocks geschieht in der Dresdener Klinik auf einer Gleitschiene, wie sie Abb. 15 darstellt. Heidelberg verwendet die in Abb. 10, 12, 13 dargestellten Pessare, Berlin die bereits erwähnte Stenzmasse. Die Tamponade wird wie sonst mit Korn- und Kugelzange ausgeführt.

Ein besonderes Hilfsinstrument für die Radiumbestrahlung hat Flatau angegeben (Abb. 19). Es besteht aus einem Miniaturspekulum mit durchbrochener Wand und soll nach der Dilatation des Zervikalkanals in denselben zur dauernden Offenhaltung der Lichtung eingelegt werden. Vorhergehende Erweiterung bis etwa Hegar 8. Erst in dieses Spekulum kommt das Radiumpräparat zu liegen, das nun also nicht in direkter Berührung mit dem Gewebe sich befindet, so daß zwischen Spekulum und Radiumpräparat etwa sich bildendes Sekret die Möglichkeit des Abfließens hat. Durch das Flatausche Gerät soll vermieden werden, daß eine Sekretretention im Cavum uteri eintritt, durch welche aufsteigende Infektionen bekanntlich sehr begünstigt werden. Das Spekulum hat den Nachteil, daß es nach längerem Gebrauch unansehnlich und schließlich von den Gewebesäften direkt zerstört wird. Es würde sich dementsprechend vielleicht empfehlen, das kleine Spekulum aus nicht rostendem Stahl oder aus Edelmetall herzustellen.

E. Ort und Art der Applikation.

Die Handhabung des Radiums haben wir in den vorangehenden Abschnitten nun schon zum größten Teil kennengelernt. Es bleibt noch übrig, über den Ort und die Art der Applikation zu sprechen.

Adler hat sehr richtig betont, daß nicht ein Fall zu behandeln sei wie der andere und daß der Gynäkologe jedesmal — und zwar auf Grund des objektiven Befundes und seiner Kenntnis von der Metastasierung des Karzinoms — sich überlegen muß, welche Applikationsweise die beste Aussicht auf Erfolg besitzt. Beim Kollumkarzinom schränken sich natürlich die Möglichkeiten etwas ein. Trotzdem müssen auch hier der Sitz, die Ausbreitung, die Größe des Karzinoms und die Zeit seines Bestehens berücksichtigt werden. Stets muß man also den genauen gynäkologischen Befund der Bestrahlung zugrunde legen und außerdem die Ausbreitung des Karzinoms in den Lymphwegen des kleinen Beckens mit in Rechnung stellen. Eine vollständige Bestrahlung soll die seitlich an der Beckenwand gelegenen Drüsen unbedingt erreichen.

1. Zentrale Applikation (zervikale).

Mit Adler können wir unterscheiden:

a) die zentrale Applikation, d. h. die Einlage des Radiums mitten in den karzinomatösen Tumor (Krater) oder, wie es sich in der Regel wohl mehr empfiehlt, in den meist konzentrisch umwachsenen Zervikalkanal und in die Uterushöhle (zervikale Applikation);

b) die endourethrale und vesikale Applikation,

c) die rektale Einlage,

d) die vaginale Applikation,

e) die Einlage ins Peritoneum,

f) die Bestrahlung vom Bauch oder Rücken aus (perkutane Bestrahlung),

g) die parietale Applikation (Adler) oder parametrane Applikation (Bumm).

Über die zentrale Applikation braucht hier nichts weiter hinzugefügt zu werden, sie ist allgemein bekannt, wird meist geübt und bedarf der Vorbereitungen, welche oben schon ausführlich erwähnt wurden.

Der zentralen Applikation gegenüberzustellen ist die periphere Applikation, wie sie durch die Einlage des Radiums in die Urethra, die Blase oder das Rektum gegeben ist. Es versteht sich von selbst, daß man hier zweckmäßigerweise nur Präparate verwendet, welche die nächste Umgebung nicht allzu stark in Mitleidenschaft ziehen (langgestreckte Präparate). Würde man das nicht tun, so könnte man die Bestrahlung nur kurze Zeit durchführen und die Gefahr der Fistelbildung bliebe doch bestehen.

2. Urethrale und vesikale Bestrahlung.

Adler hat die urethrale Bestrahlung gelegentlich mit nur sehr schwacher Filterung (0,2 mm Platin) ausgeführt, weil er die Dilatation der Harnröhre fürchtete. Ich glaube, man braucht nach den Untersuchungen von Vey darin nicht mehr allzu ängstlich zu sein und kann bis Hegar 8—9 ruhig erweitern. Adler gibt an, daß er die Röhrchen unter allen Kautelen der Asepsis nach Sterilisierung in Formalindämpfen eingeführt hat und daß in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten bestehen. Dagegen gelang es ihm zunächst nicht, eine genügende Fixation des Radiumträgers zu erreichen. Schließlich half er sich so, daß er aus Plastilin ein Modell formte, das einerseits in der Vagina durch einen Zapfen Halt fand, anderseits den Radiumträger in der Urethra festhielt. Durch Heftpflasterstreifen und eine T-Binde wurde das Modell so fest ans Genitale angedrückt, daß eine Verschiebung der Kapsel nie beobachtet wurde. Das Plastilin soll frei von Blei sein!

Man kombiniert die urethrale Bestrahlung mit der zervikalen, vaginalen und evtl. auch der rektalen Bestrahlung und kann sicher sein, durch diese Art des Kreuzfeuers vor allem die peripher gelegenen Propagationszonen des Karzinoms genügend zu treffen.

Die vesikale Bestrahlung hat bisher vorwiegend die Urologen beschäftigt. Vor allem hat Schüller gut erdachte und handliche Instrumente für die Applikation des Radiums angegeben. Uns interessiert aber hier nur die Dosis, welche man der Urethra und Blase zumuten kann. Sie beträgt nach Schüller ca. 1500—2000 mgeh/cm, d. h. die Einlage von 50 mg Radiumsalz wird, wenn gut gefiltert, für 50 Stunden anstandslos vertragen.

3. Rektale Applikation.

Die rektale Bestrahlung ist eine periphere Bestrahlung wie die vesikale. Sie hat ihre Nachteile und Vorteile. Vorteilhaft ist, daß man keine Infektion zu fürchten hat. Ungünstig ist besonders, daß das Rektum nicht median, sondern in der linken Hälfte des Beckens verläuft, so daß die rektale Applikation in erster Linie für Karzinome in Frage kommt, welche nach dem linken Parametrium entwickelt sind.

Vor der rektalen Applikation muß der Darm gründlich entleert, die Kost schon 24 Stunden vorher entsprechend eingestellt sein. Vor der Einlage selbst wird Opiumtinktur verabreicht. Soll die rektale Bestrahlung mit einer vaginalen kombiniert werden, so hat die vaginale Einlage zuerst zu geschehen.

Die Radiumkapsel hat Adler, mit Gaze und einem Gummifingerling umgeben, nach gründlicher Einfettung des letzteren in die Ampulle recti hinaufgeschoben. Statt dessen kann man auch ein Instrument anwenden, welches dem Ösophagusdilatator von Stark sehr ähnlich gebaut ist, geschlossen eingeführt und im Rektum erst geöffnet wird. Auf diese Weise wird ein sicherer Abstand des Radiums von der rektalen Wand gewährleistet. Eine besondere Fixation des Radiumpräparates ist im allgemeinen nicht notwendig, doch kann man einen eingefetteten Tampon, mit Seidenfaden armiert, zur Fixation hinter dem Radium einschieben.

Die Bestrahlungsdauer ergibt sich nach der Stärke des Präparates, der erlaubten Dosis und dem Abstand des Radiumröhrchens von der Rektumwand. Adler ist niemals über 6 Stunden hinausgegangen und hat dann stets Pausen von mindestens einigen Tagen eingeschaltet.

4. Die vaginale Applikation.

Von der nur vaginalen Applikation ist man heute so gut wie ganz abgekommen (s. die Bestrahlungsgeräte von Heidelberg, Berlin, Dresden), und zwar wegen der Gefahr der Rektumschädigung. Sie wieder einzuführen, gelingt vielleicht mit Hilfe des oben von mir beschriebenen Gerätes.

5. Parametrane Bestrahlung.

Eine besondere Form der peripheren Bestrahlung stellt die parietale und parametrane Applikation dar, wie sie Adler (Amreich) und Bumm empfohlen haben. Das Radium kommt dabei nicht in eine präformierte Höhle, sondern in einen Kanal, der künstlich erst hergestellt wird und möglichst durch die Wurzel der Parametrien geht. Zur parametranen Bestrahlung ist also eine Voroperation mit allen ihren Vor- und Nachteilen notwendig. Vorteilhaft ist, daß man in einem sterilen Milieu arbeitet; nachteilig wirkt, daß eine Infektion meist nicht dauernd fernzuhalten ist und dadurch die Möglichkeit zur Entstehung schwer eitriger Parametritiden gegeben ist.

Die Operation an sich ist einfach. Man durchtrennt die Haut in der Gegend des

Dammes — links und rechts der Raphe — und geht stumpf mit dem Finger bis in die Höhe der Interspinallinie. Auf dem gleichen Wege wird das Radium eingelegt, die Wunde dann durch leichte Tamponade und einen Heftpflasterverband provisorisch geschlossen. Die Entfernung des Radiums geschieht nach 12—24 Stunden. Nachher ist die Sekretion der Wunde infolge lokaler Gewebsnekrosen oft beträchtlich, doch soll meist nach kurzer Zeit eine ungestörte Granulierung eintreten (Bumm).

6. Die abdominale Bestrahlung.

Man muß hier zwei verschiedene Formen unterscheiden:

a) von der Bauchhaut aus;
b) vom Peritoneum aus.

Die abdominale Methode wird hauptsächlich von v. Seuffert angewendet und von ihm als perkutane Bestrahlung bezeichnet. Die letztere Methode hat Mentzel angegeben. Sie dient in der Hauptsache dazu, einzelne größere Karzinomknoten, welche im Ovarium oder auf dem Uterus sitzen, zu vernichten, und kommt in der Regel nur bei gelegentlicher Laparotomie (Probelaparotomie) in Frage. In Dresden haben wir auch schon gelegentlich daran gedacht, große Rezidivknoten an der Beckenwand nach Totalexstirpation durch peritoneale Bestrahlung zu beseitigen, und hatten geplant, von oben und möglichst extraperitoneal an die Tumoren heranzukommen. Am Tage vor der Applikation bekam die Patientin Fieber und der langsam erweichende Tumor brach nach dem Rektum hin durch: Exitus nach 10 Tagen. Einen solchen Ausgang muß man immer mit in Rechnung stellen, weil er vielleicht ein Beweis dafür ist, daß die Karzinomknoten doch häufiger infiziert sind als man denkt. Der parametranen Bestrahlung würde damit eine Gefahr erwachsen, die zunächst als unerwartet angesehen werden muß.

An Hand der beschriebenen Methoden läßt sich eine individualisierende Bestrahlung des Kollumkarzinoms ausarbeiten. Allerdings ermöglicht erst die Kenntnis der „Leistungsfähigkeit der einzelnen Elementarmethoden" diese individualisierende und sicher nicht systemlose Behandlung. Es ist unmöglich, auf alle Einzelheiten in dieser Hinsicht einzugehen, doch wollen wir im folgenden eine Übersicht geben, in welcher Weise eine Durchführung der Bestrahlung möglich ist.

I. Einstellige Bestrahlung (von einem Orte aus):
   a) zervikal
   b) zervikal-uterin,
   c) vaginal,
   d) vaginal-zervikal-uterin,
      α) Radium in einer kontinuierlichen Strahlenlinie (Großfelderbestrahlung),
      β) Radium in einer nichtkontinuierlichen Strahlenlinie (Kreuzfeuer- oder Kleinfelderbestrahlung).

II. Kreuzfeuerbestrahlung:
   a) zervikal-vaginal (Gewölbe),
   b) vaginal-vaginal (Präparate längs und quer),
   c) vaginal-urethral-vesikal,
   d) vaginal-(uterin-)rektal,
   e) vaginal-parietal-(parametran),
   f) vaginal-vesikal-rektal-parietal.

F. Die Praxis der Radiumbestrahlung.

Die Elemente der Radiumbestrahlung, wie sie eine analytische Betrachtung der einzelnen Vorgänge ergibt, haben wir nunmehr zusammengestellt. Nun gilt es noch zu einer Synthese zu gelangen.

Drei Fragen müssen bei jedem Karzinom, das zur Behandlung kommt, gestellt und beantwortet werden:

1. Wie weit ist das Karzinom ausgebreitet?
2. Wie hoch ist seine Sensibilität?
3. Wo liegt die Grenze der erlaubten Gesamtdosis?

1. Die Ausbreitung des Karzinoms ergibt sich mit allen Einschränkungen, die der kritische Untersucher seinem Befund selber gibt, aus der bimanuellen Palpation und der Beurteilung des ganzen Status. Die Gruppeneinteilung, die wir Krönig und Döderlein verdanken,

A) Operable Fälle = Gruppe I,
B) Grenzfälle = Gruppe II,
C) Inoperable Fälle = Gruppe III,
D) Aussichtslose Fälle = Gruppe IV,

findet auch hier Anwendung.

Wir wollen annehmen, wir hätten uns zur Bestrahlung der Karzinome aller Gruppen entschlossen und könnten die Operation als Methode der Wahl zunächst ausscheiden.

2. Die Radiosensibilität des Karzinoms kann — wie oben ausführlich erörtert wurde — meist geschätzt werden. Lediglich vom rein drüsigen (hochdifferenzierten) Kollumkarzinom wissen wir (Adler, Kehrer, Döderlein), daß es refraktär ist. In diesen Fällen ist also die Operation bei Karzinomen der Gruppen I und II die allein mögliche Methode. In Fällen der Gruppe III und IV würde die Bestrahlung von vornherein nur ein palliatives Ziel verfolgen können.

Für die Plattenepithelkarzinome — auch die sekundär soliden — dürfen wir, soweit sie nicht reif sind, mit einer Radiosensibilität von etwa $^1/_2$ Erythemdosis rechnen; bei reifen Karzinomen nehmen wir die volle H.E.D. als notwendige bzw. erlaubte Gesamtdosis an (H.E.D. mit 750 mgeh/cm gerechnet).

3. Bleibt die wichtigste Frage: **die Höhe der erlaubten bzw. notwendigen Gesamtdosis.** Seitz-Wintz und auch Menge, Opitz, Bumm haben die letztere mit ca. 6000 Milligrammstunden angegeben; in Dresden haben wir nicht selten die doppelte Menge und mehr verabreicht.

Schematisch darf man sich nicht an die eine oder die andere Zahl halten. Die folgende Tabelle zeigt deutlich, daß man die Höhe der Dosis nach der Ausbreitung des Karzinoms variieren darf und muß, zeigt uns zugleich aber auch, wo die alleroberste, die „absolute Grenze" ungefähr gelegen ist.

Tabelle 14[1]). Heilungsziffern nach 5jähriger Beobachtung.

Dosis	Gruppe I	II	III	IV
Bis 3000 mgeh	100%	0%	0%	0%
3000—6000 mgeh	100%	33%	16%	0%
6000—10000 mgeh.....	55%	30%	19%	0%
über 10000 mgeh.....	25%	10%	12%	0%

[1]) Nach Kehrer.

Daraus geht hervor, daß

1. die absolute oberste Grenze bei etwa 10000 Milligrammstunden gelegen ist, denn bei Überschreitung dieser Grenze sinken die Heilungsziffern in allen Gruppen,

2. die Fälle der Gruppe I nicht mehr als 6000 Milligrammstunden erhalten dürfen,

3. der Anstieg der Dosis bis auf 10000 mgeh für Fälle der Gruppe III keinen Schaden, eher Vorteil bedeutet,

4. die Fälle der Gruppe IV für die Radiumbestrahlung als aussichtslos zu betrachten sind.

Verfolgt man das Material noch mehr in Einzelheiten, so ergibt sich nach meinen Beobachtungen

1. daß alle Frauen über 46 Jahre, Frauen mit Karzinomkrater, aber deutlicher Demarkationszone und endlich kachektische Frauen hohe Dosen, gelegentlich auch über 10000 Milligrammstunden auffallend gut vertragen,

2. daß man in der Dosierung sehr vorsichtig sein muß

   a) bei beginnendem Karzinom (ohne Demarkation),
   b) bei jungen Frauen (drittes Jahrzehnt!),
   c) bei blonden Frauen.

Endlich aber spielt, wie Kehrer und Lahm dartun konnten, die Rektumdistanz eine große Rolle. Es darf die Gesamtdosis niemals höher werden, als daß am Rektum (die Blase und der Ureter spielen fast die gleiche, aber nicht ganz so gefährliche Rolle) die Nekrosedosis erreicht wird. Sie beträgt nach Kehrer-Lahm ca. 185% der H.E.D., nach Seitz-Wintz und Krönig-Friedrich ca. 135% (bei Röntgenbestrahlung!). Wird die Rektumwand nekrotisch, so gestattet sie der Darmflora den Durchtritt ins periproktale Bindegewebe, wodurch septisch-saprische Beckenbindegewebserkrankungen, oft auch Peritoniden entstehen.

Über den Zusammenhang von Rektumdistanz und Gesamtdosis mag folgende Tabelle, die ich seinerzeit publiziert habe, Aufschluß geben:

Tabelle 15. Erlaubte Tiefendosis bei einer

Rektumdistanz vom Radium	Länge der Radiumpräparate		
	20 mm	40 mm	60 mm
1,0 cm	2000	2800	3600
1,5 „	4800	5300	5700
2,0 „	6300	8000	9000
2,5 „	9700	12000	12000
3,0 „		15—16000	
3,5 „		20000	

Man erkennt daraus den Vorzug der langen Präparate und sieht deutlich die gesteckte Grenze. Bei einem Präparat von 20 mm Länge wird die Rektumdosis bei 2,5 cm Abstand schon mit 9700 Stunden erreicht, indessen man bei 40 oder 60 mm langen Präparaten auf 12000 Stunden hinaufgehen kann.

Was nun die notwendige Dosis betrifft, so steht sie allein in Abhängigkeit von der Radiosensibilität des Karzinoms, die wir nur schätzen können. Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenhänge.

Tabelle 16. Notwendige Radiumdosis bei einer

Tiefenausdehnung des Karzinoms von	Radiosensibilität von 250 = 30% H.E.D.	500 = 60% H.E.D.	750 = 100% H.E.D.	1000 mgeh/cm = 125% H.E.D.
1,0 cm	250	500	750	1000
1,5 „	560	1100	1650	2250
2,0 „	1000	2000	3000	4000
3,0 „	2250	4500	6750	9000
4,0 „	4000	8000	12000	16000
6,0 „	9000	18000	27000	36000

Daraus geht hervor, daß es zwar zweifellos Karzinome gibt, welche mit den erlaubten Dosen bis in 6 cm Tiefe vernichtet werden können, daß aber die Reichweite des Radiums mit der Radiosensibilität steht und fällt. Da wir über sie aber vor Beginn der Bestrahlung nichts wissen, so müssen wir in jedem Falle bis zu der Dosis gehen, welche uns durch den Rektumabstand als Maximalwert vorgeschrieben wird.

Auch Amreich hat in sehr ausführlichen Besprechungen auf die Erschwerung hingewiesen, welche der zervikalen Radiumapplikation durch die „übermäßige Mitbestrahlung des Gewebes zwischen der Strahlenquelle und dem Strahlenziel" erwächst (Strahlenziel = Vorposten des Karzinoms an der Beckenwand). Er nennt das Zwischengewebe „kritisch" und unterscheidet:

a) eine kritische parametrane Schicht (Ureter!),
b) eine kritische vordere Schicht (Blase),
c) eine kritische hintere Schicht (Rektum).

Amreich, welcher die kritischen Schichten in etwa $1^1/_2$—2 cm Tiefe (vom Zervikalkanal aus gemessen) verlegt, prüft nun alle Methoden, um das Strahlenverhältnis zwischen kritischer Schicht und Strahlenziel (= prognostischer Quotient) besser zu machen. Verschiedene Möglichkeiten schweben ihm vor: Distanzierung der Strahlenquelle, Veränderung ihrer Form, Kompression der Parametrien, Steigerung der Radiosensibilität des Karzinoms und Verwendung von Metallblenden zum Schutze der Blase und des Rektums. Außer der Kompression — siehe die Methode Eymers mit dem Zwankschen Pessar — und der Bestrahlung mit kugelförmigen Präparaten (daß sich Amreich hier geirrt hat, wurde schon betont) schien aber praktisch kein Weg offen zu bleiben. Auch wir sehen heute nur in der Längsstreckung der Präparate, der Distanzbestrahlung, wie ich sie mit dem neuen vaginalen Bestrahlungsgerät vorgeschlagen habe, der Kompression und der Kreuzfeuerbestrahlung (evtl. mit Röntgenbestrahlung!) die einzigen Möglichkeiten dieser ungünstigen Bedingungen Herr zu werden.

Wir möchten im folgenden in einer Tabelle nochmals zeigen, wie sich der prognostische Quotient Amreichs zahlenmäßig darstellt.

Tabelle 17.

Dosierung	Abstand der krit. Schicht	Dosis an der krit. Schicht	am Strahlenziel (6 cm)	Verhältnis
6000 mgeh	1,5 cm	2700 mgeh	170 mgeh	15 : 1
	2,0 „	1500 mgeh		9 : 1
	2,5 „	1000 mgeh		6 : 1

Nachdem wir nun über die Dosierung insgesamt orientiert sind, bleibt die Umrechnung in Zeit. Denn in der Regel ist unsere Radiumbestrahlung eine Dosierung „nach Zeit", weil die Menge der verfügbaren Milligramm-Radiumelemente feststeht.

Zunächst eine Tabelle zur Umrechnung:

Tabelle 18.

Milligramm-Std.		bei 15	20	30	50	70	100 mg Ra.-El.	
Es entsprechen	1000	67	50	34	20	14	10	Bestrahlungsstunden
	1200	80	60	40	24	17	12	
	1500	100	75	50	30	21	15	
	2000	133	100	67	40	29	20	
	2500	167	125	83	50	35	25	
	3000	200	150	100	60	43	30	
	4000	265	200	135	80	55	40	
	5000	330	250	165	100	71	50	
	6000	400	300	200	120	84	60	

Damit ist aber das Zeitproblem noch nicht erledigt. Abgesehen von den Fragen, welche oben bereits besprochen wurden, hat man im Laufe der Zeit noch gewisse Erfahrungen gemacht:

1. Man hat bei der Anwendung großer Dosen schon bald nach Beginn der Bestrahlung unangenehme Zustände bei den bestrahlten Frauen auftreten sehen, die man mit der Höhe der Dosis (der Intensität des Reizes) in Zusammenhang brachte.

2. Man hat oft die Beobachtung gemacht, daß eine zulange Bestrahlung Folgen nach sich zog, welche den an sich guten Anfangserfolg zu vernichten drohten.

Was die Schäden betrifft, welche man auf die Einwirkung großer Dosen glaubt zurückführen zu müssen, so ist es zunächst recht schwer anzugeben, ob die Höhe der Dosis wirklich das schädigende Moment darstellt. Zwar ist von einigen Autoren auf den negativen Chemotropismus, den die radioaktive Substanz auf Bakterien ausübt, hingewiesen worden (man nahm an, virulente Keime könnten durch die Radiumpräparate allein in die parametranen Lymphspalten vertrieben werden), doch muß dem entgegengehalten werden, daß es sehr viele Fälle gibt, bei denen eine Infektion zweifellos von Anfang an besteht und trotzdem eine fieberhafte Erkrankung auch bei der Verabreichung großer Dosen nicht eintritt.

Es liegt in vielen Fällen deshalb vielleicht näher, daran zu denken, daß die Einlage des Radiums als solche zu einer Schädigung geführt hat, wie wir das von den fieberhaften akuten Störungen nach Laminariadilatation usw. kennen. Ich möchte ganz besonders noch einmal darauf hinweisen, daß mir die Anwendung durchbohrter Metalldilatatoren (Eymer) durchaus zweckmäßig erscheint. Solide Stifte können sehr wohl einen infizierten Inhalt der Zervix oder des Corpus uteri nach den Tuben und dem Peritoneum pressen.

Zur Vermeidung hoher Dosen zu Beginn der Bestrahlung hat Füth sein „einschleichendes" Verfahren (s. S. 552) empfohlen. Ob er wesentlich bessere Erfolge in Hinsicht auf fieberhafte Erkrankungen während der Radiumbestrahlung erlebt hat, kann ich leider nicht angeben. Im übrigen hoffe ich, daß das neue vaginale Gerät, das oben beschrieben worden ist, die Fiebersteigerungen während der Bestrahlung ganz beseitigen wird. Über die Möglichkeit der passiven Immunisierung durch Serum s. S. 590.

Sehr lange Bestrahlungen müssen immer als ungünstig angesehen werden, ganz gleichgültig, ob die Länge der Bestrahlung durch den Gebrauch zu kleiner Mengen von Radium oder durch die Größe der Karzinome bedingt ist. Nicht nur in der Inflations-

zeit, sondern auch vorher und nachher entzogen sich die Patienten der ihnen auf die Dauer unbequemen Behandlung, so daß die planmäßige Behandlung nicht zum Abschluß kommt. Außerdem nimmt auch die Infektionsgefahr von Tag zu Tag zu, weil das zerfallende Karzinom und die Zerstörung des Selbstschutzes in der Vagina für virulente Keime geeignete Aufenthaltsbedingungen schafft. Endlich muß darauf hingewiesen werden, daß das normale Bindegewebe sich bei immer wiederholten Insulten durch zu lange Bestrahlung nicht mehr erholt und seine natürliche Widerstandskraft gegen das vordringende Karzinomgewebe einbüßt. Es empfiehlt sich daher, lieber eine Bestrahlung zu einer gewissen Zeit zu unterbrechen und dieselbe zu einem späteren Zeitpunkt wieder fortzusetzen, als durch zu lange Bestrahlungen die genannten ungünstigen Momente heraufzubeschwören.

Wenn wir nun endlich zum Ausgangspunkt unserer Besprechungen zurückkehren, so müssen wir bezüglich der absoluten Höhe der Dosis (Reizgröße) darauf hinweisen, daß der Zeitfaktor von geradezu ausschlaggebender Bedeutung ist, da wir eigentlich fast stets „nach Zeit" dosieren. Selbstverständlich ist die Frage nach der Gesamtdosis (Toleranzdosis) kein physikalisches Problem, sondern ein biologisches und vielleicht sogar ein konstitutionelles. Zwei Dinge sind es, welche in dieser Richtung für die Höhe der anzuwendenden und erlaubten Dosis in Betracht kommen:

a) die Größe und Ausbreitung des Karzinoms, d. h. die rein topographischen Verhältnisse,

b) das Allgemeinbefinden der Frau, d. h. ihr somatisch-konstitutioneller Zustand.

Die zu verabreichende Dosis muß zweifellos der Tiefenausbreitung des Karzinoms gerecht werden. Darüber ist heute nicht ein Wort mehr zu verlieren. Selbst wenn es vereinzelte Fälle gibt, wo durch eine einmalige ganz geringe Dosierung fortgeschrittene Karzinome eine auffallende Besserung oder gar Heilung erfahren, so steht doch fest, daß die Dosis mit der Ausbreitung des Karzinoms gesteigert werden muß (s. Tabelle 14). Im übrigen ist die Dosis abhängig von der Radiosensibilität des Karzinomgewebes (die wir allgemein nicht kennen) und von der Distanz der Blase und des Rektums von der Strahlenquelle. Die folgende Tabelle mag die Gesamtheit der Zusammenhänge zwischen Radiosensibilität, Rektumdistanz und Dosenhöhe noch einmal wiedergeben.

Tabelle 19.

Rektumdistanz	1 cm	1,5 cm	2 cm	2,5 cm	3 cm	3,5 cm
Maximum der Bestrahlungszeit in Stunden bei 100 mg Ra.-El.	48 Std. = 2 Tg.	84 Std. = 3½ Tg.	120 Std. = 5 Tg.	180 Std. = 7½ Tg.	240 Std. = 10 Tg.	280 Std. = 12 Tg.
Gesamtdosis	4800	8400	12000	18000	24000	28000
Radiosensibilität in mgeh/cm	Tiefenwirkung in cm					
250	3	5	6	7	8	
500	2,5	3,5	4	4,5	5,5	6
750	2	2,5	3,5	4	4,5	5
1440	1	2	2,3	2,8	3,2	4

Somatisch und konstitutionell kennen wir heute erst wenig Faktoren, welche für die Radiumdosierung in Frage kommen. Immerhin aber können wir sagen, daß das Alter der Frau, vermutlich auch ihr Pigmentgehalt und ihr Allgemeinzustand eine große Rolle spielen. Jugendliche Frauen vertragen Radium im allgemeinen schlecht, ebenso blonde Frauen. Bei Frauen über 46 Jahren kann man dreiste Dosen anwenden, ohne eine erhebliche Schädigung erwarten zu müssen. Das gleiche gilt für kachektische

Frauen. Außerdem vertragen Frauen mit einem Zervixkrater die Radiumeinlage meist besser, als solche, bei denen sich eine Demarkationszone gegen das nichtulzerierte oder beginnende Karzinom noch nicht gebildet hat. Es ist ganz auffallend, wie von diesen Faktoren die Prognose des Einzelfalles abhängt. Wenn wir auch im allgemeinen mit einer absoluten Dosis von etwa 10000 Milligrammstunden rechnen, welche nicht überschritten werden soll, so muß doch betont werden, daß oft schon eine Dosis von 6000 Milligrammstunden (bei jugendlichen Frauen und bei beginnenden Karzinomen) das eben erträgliche Maximum darstellt. Der absolute Wert der erlaubten Reizgröße steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit der sog. „Raumdosis", d. h. mit der Strahlenmenge, welche im Körper absorbiert wird. Nach dem von mir beobachteten Material habe ich den Eindruck, daß aber nicht so sehr die Höhe der Gesamtdosis schädlich wirkt, als vielmehr die Menge der angewandten radioaktiven Substanz. Mir will es scheinen, als wenn die Anwendung von mehr als 100 mg Radiumelement stets zu unangenehmen Folgeerscheinungen führte. Ob das auch bei meinem neuen Bestrahlungsgerät der Fall sein wird, kann ich bisher nicht sagen, doch scheint es mir nicht wahrscheinlich, da hier ein großer Teil der Intensität nur innerhalb des Bleimantels zur Wirksamkeit kommt.

Am besten wäre es, wenn jede Bestrahlung in einer einzigen Sitzung vollzogen werden könnte, weil dann über die Höhe der Dosis und schließlich auch über die zu erwartende Wirkung kein Zweifel bestehen könnte. Es läßt sich eine solche Methode beim Kollumkarzinom nur schwer durchführen (siehe unten Methode Amreich), weil die Gefahr der Infektion und Sepsis immer drohend im Hintergrunde steht. Bestrahlungen von 48 Stunden Dauer sind in dieser Hinsicht schon nicht mehr gleichgültig. Nur Menge wendet (auch heute noch?) die radioaktive Substanz 72 Stunden im Cavum uteri an, ohne unangenehme Erfahrungen zu erleben. Für alle Autoren, welche die einmal als notwendig erkannte Strahlendosis durch Unterteilung (Dosis refracta) verabreichen, ist es wichtig zu wissen, in welcher Weise sich die Dosen summieren (S. 570).

4. Indikationen und Kontraindikationen zur Radiumbestrahlung, Prognose derselben.

Über die allgemeine Indikation zur Bestrahlung wurde bereits in Kapitel II gesprochen. Der Entschluß zu bestrahlen ist also gefaßt. Hier kommt es nur noch darauf an, die Indikation für die Radiumbestrahlung als solche zu stellen, und zwar ob

a) alleinige Radiumbestrahlung,
b) kombinierte Radium-Röntgenbehandlung,
c) eine bestimmte, festzulegende Bestrahlungsmethode

in Anwendung kommen soll.

Es ist ein schwerer und verantwortungsvoller Entschluß, den wir bei der Entschließung zur alleinigen Radiumbestrahlung fassen. Zwar haben wir schon gesehen, daß gute Erfolge mit der alleinigen Radiumbestrahlung erzielt werden können und oft vorhanden sind (Kehrer, Baisch, Döderlein), aber mit Gewißheit können wir sie nicht voraussagen, weil wir die Radiosensibilität des Karzinoms im Einzelfall nicht kennen und über die Reparationskraft des Organismus nicht genügend orientiert sind. Es kommt hinzu, daß die nächstmalige Anwendung von Radium erschwert sein kann, wenn die erste Sitzung zu stark ausgefallen war. Dabei muß noch darauf hingewiesen werden, daß allem Anschein nach der Erfolg wesentlich besser wird, wenn man 2- oder 3mal bestrahlen kann (Lahm).

Für die Mehrzahl der Fälle kommt aus dieser einfachen Überlegung heraus die kombinierte Radium-Röntgenbestrahlung in Frage, aber nicht aus den Grün-

den, wie sie von Opitz, Seitz-Wintz und Bumm erhoben worden sind, daß die Reichweite der Radiumstrahlen zu gering sei, sondern lediglich, weil wir nach der ersten Bestrahlung die Möglichkeit zur Wiederholung besitzen möchten.

Mit der Indikationsstellung zur Bestrahlung des Kollumkarzinoms hat sich erstmalig Kehrer beschäftigt. Es wurden von ihm, unter der Voraussetzung der wechselnden Radiosensibilität, 3 Gruppen unterschieden:

Strahlengruppe A: Radiosensibilität des Karzinoms ungefähr 30% der H.E.D. Diese Fälle sind, wie aus den auf Seite 584 mitgeteilten Tabellen hervorgeht, mit Radium allein zu bestrahlen und auch zu heilen, selbst wenn das Karzinom bis zur Beckenwand reicht. Die Mastdarmdosis tritt im allgemeinen nicht störend in Erscheinung, weil mit der Vergrößerung des Portiotumors auch der Abstand zwischen Zervikalkanal und Rektum zunimmt. Dieser Gruppe gehört wahrscheinlich die Mehrzahl aller Kollumkarzinome an. Jedenfalls darf man rechnen, daß fast alle mittelreifen und ein Teil der ausgereiften Formen darin unterzubringen sind.

Strahlengruppe B: Radiosensibilität des Karzinoms 100% der H.E.D. Diese Fälle sind mit Radium allein nicht zur Heilung zu bringen, wenn ihre Tiefenausdehnung mehr als 3 cm beträgt. Auch dann muß schon fast das Maximum der erlaubten Dosis überschritten werden. Die Nekrosedosis des Rektums macht sich sehr unangenehm geltend, darf aber keinesfalls außer acht gelassen werden. Zu dieser Gruppe gehören die Karzinome der niederen Zellreife und der Restteil der Kankroide.

Strahlengruppe C: Die Radiosensibilität ist geringer als die der Haut (Karzinomdosis = 200—300% der H.E.D.). Tiefenwirkung nur 1—2 cm. Für Karzinome, deren Ausdehnung nicht mehr beträgt, ist unbedingt zur Operation zu raten.

Die hier von Kehrer skizzierte Indikationsstellung geht von dem Gedanken aus, daß die Radiosensibilität des Karzinoms bekannt ist. Da dies aber nicht der Fall ist, so entscheidet natürlich letzten Endes doch die Ausdehnung des Karzinoms über den einzuschlagenden Weg: Unbedingt zur Operation kommen die hoch differenzierten Drüsenkarzinome des Collum uteri, falls sie noch der Gruppe II angehören. Über die Höhe der Dosis bei allen anderen Fällen entscheiden die Rektumdistanz, die Form des Radiumröhrchens und die obengenannten konstitutionellen und somatischen Gesichtspunkte.

Amreich stellt folgende Übersicht auf:

1. Die einfache zervikale Methode setzt keinen operativen Eingriff voraus und ist deshalb grundsätzlich vorzuziehen. Als Normalmethode kann sie trotzdem nicht hingestellt werden wegen der Verschiedenheit der Ausbreitung des Kollumkarzinoms und der verschiedenen Angriffsart der Methohen. Sie ist geeignet für alle Fälle mit geringer Infiltration des Beckenbindegewebes.

2. Die Kreuzfeuermethode, vom Zervikalkanal und irgendeiner Stelle der Peripherie aus, eignet sich besonders für Fälle mit weitgehender seitlicher Infiltration. Sie darf vor allem dann auf Erfolg rechnen, wenn sie intermittierend durchgeführt wird.

Anders ausgedrückt: Alle leichten Fälle (operablen Fälle) fallen der einfachen Zervikalmethode zu, alle mittelschweren Fälle kommen zur Kreuzfeuerbestrahlung.

Größere Infiltrate im Beckenbindegewebe und an der Beckenwand eignen sich besonders für die parietale und parametrane Bestrahlung.

Eine wirkliche Kontraindikation gegen die Bestrahlung — es sei denn gegen die parietale und parametrane bei allzu großem Schwächezustand der Frauen — gibt es nicht. Auch das Drüsenkarzinom des Collum uteri haben weder Amreich noch Adler

in dieser Hinsicht genannt, obwohl beide das obsolut refraktäre Verhalten dieser Karzinomformen beobachtet hatten.

Ich selbst möchte als Kontraindikation die Thrombose der Beckenvenen nennen.

Zuletzt noch ein Wort zur Prognose der bestrahlten Fälle. Bisher waren wir gewohnt, die Prognose des Karzinoms, auch wenn der anfängliche Erfolg der Bestrahlung gut aussah, sehr ernst zu stellen oder — falls wir das nicht taten — unseren besseren „Glauben" an dem „guten Aussehen", dem „guten Ernährungszustand", der „Gewichtszunahme" und anderen Allgemeinsymptomen aufzurichten. Wirklich verläßliche Unterlagen schienen uns nicht zu Gebote zu stehen. Die Prognose fiel also zusammen mit dem Heilungserfolg.

Ich habe vor zwei Jahren geglaubt, von einer Beobachtung Mitteilung machen zu müssen, welche sich mir bei den Untersuchungen über die individuelle Radiosensibilität aufgedrängt hatte: das Verhalten der eosinophilen Zellen in der Umgebung des Karzinomgewebes zum endgültigen Heilerfolg. Ich gewann den Eindruck — und konnte denselben dann durch Nachuntersuchungen an großem Material bestätigt finden —, daß das Auftreten von eosinophilen Zellen in der Nachbarschaft der Karzinomzüge ein „gutes Reagieren" widerspiegelt. Ich konnte dartun, daß in allen Fällen mit Eosinophilie fast die doppelte Zahl der Dauerheilungen zu beobachten ist wie in Fällen ohne Eosinophilie und betrachte dies Zeichen heute noch als ein prognostisch günstiges.

Über die Bewertung und Beurteilung der lokalen Eosinophilie kann man sehr verschiedener Meinung sein. Anfänglich hatte ich den Eindruck, daß die Granulierung der Leukozyten besonders bei den reifen Karzinomen auftrete, und hatte mir die Anschauung gebildet, es könnten hornartige Abbauprodukte sein, welche die Eosinophilie hervorrufen. Seit man die Eosinophilie als ein Symptom der Vagotonie kennt, neige ich der Auffassung zu, daß die lokale Eosinophilie ein Zeichen der vagotonischen Konstitution sei.

5. Gefahren und Schädigungen.

Für die Gefahren und Schädigungen in Verbindung mit der Radiumbestrahlung kommt es natürlich darauf an, in welcher Weise bestrahlt wurde. Die vaginale Bestrahlung besitzt eine andere Bedeutung wie die zervikale und uterine, und wieder eine andere wie die parietale und die parametrane. Auf alle Einzelheiten können wir im Rahmen dieser Betrachtungen nicht eingehen, nur 5 Fragen sollen eine kurze Würdigung erfahren, und zwar die

1. der Mortalität,
2. der Nekrosebildung,
3. der Infektion,
4. der Fistelbildung,
5. der Allgemeinschädigung.

Der Radiumbestrahlung, wie der Aktinotherapie überhaupt, geht der Ruf voraus, daß sie ungefährlich sei. Die primäre Mortalität soll bei der Strahlenbehandlung des Uteruskarzinoms wegfallen. Theoretisch läßt sich diese Behauptung wohl begründen, aber in der Praxis sieht die Sache wesentlich anders aus. Zwar gibt es noch eine ganze Reihe von Autoren, welche über auffallend geringe Mortalität bei der Radiumbestrahlung berichten. Ich glaube aber, daß die Zahlen sofort anders lauten würden, wenn man einmal eine Statistik sehen könnte, wo alle Todesfälle innerhalb des ersten Vierteljahrs nach der Bestrahlung eingetragen wären. Gewiß ist die Bestrahlung als solche ungefährlich, aber die Manipulationen, die mit ihr verbunden sind, können zu sehr gefährlichen Folgeerscheinungen führen. Dabei ist nicht einmal Rücksicht ge-

nommen auf alle die vielen Fälle, über die wohl jede Klinik berichten könnte, welche den sog. Kinderkrankheiten der neuen Therapie oder mißverstandenen Dosierungsvorschlägen zum Opfer fallen. Ich weise in dieser Beziehung nur auf das erschütternde Bekenntnis von Schauta hin, das er von seinen eigenen Erfahrungen gibt.

Ganz gewöhnliche Erscheinungen bei der Radiumbestrahlung sind die Gewebsnekrosen. Betrachtet man einen Zervikalkanal 4 Wochen nach der Radiumeinlage, so sieht man, wie große Teile des Gewebes sich in Form gelblichweißer zusammenhängender Membranen abstoßen und eine Demarkationszone im gesunden Gewebe sich mehr und mehr ausbildet. Diese Nekrose des Gewebes ist eine Folge der Überdosierung, wie sie entweder durch ungenügende Filterung der Präparate entsteht (β-Strahlenwirkung) oder wie sie im Interesse einer ausreichenden Bestrahlung des ganzen Beckens in nächster Nähe des Radiums nicht zu vermeiden ist. Je mehr wir das Strahlenfeld der Radiumpräparate homogen gestalten, desto mehr fällt die Nekrosenbildung weg. Sie ist also letzten Endes verursacht durch die ungünstige Intensität, die wir im Strahlenfeld des Radiums leider immer noch besitzen. Sie nimmt zu mit der stärkeren Konzentrierung der Präparate, sie nimmt ab bei möglichst gleichmäßiger Verteilung der radioaktiven Substanz auf ein Großfeld (langgestreckte Präparate) und bei entsprechender Distanzierung.

Für die Ausbildung der Nekrosen ist natürlich die Strahlenempfindlichkeit des bestrahlten Gewebes maßgebend. Wird schon im ersten Strahlengange Karzinomgewebe getroffen, so kann es, da es empfindlicher ist als das Epithel der Haut, zu einer unerwartet schnellen Einschmelzung der ganzen Umgebung des Radiumröhrchens kommen. Die Abstoßung der ganzen Vaginalwand ist nicht selten, wenn das Karzinom z. B. subepithelial im paravaginalen Gewebe oder gar im Epithel vorgedrungen ist. Das Gewebe der Zervix und des Corpus uteri ist im allgemeinen wenig empfindlich gegen die Strahlung, so daß es selten zu einer tiefgehenden Nekrose kommt. Selbst die Schleimhaut des Uterus verträgt vielleicht 20—25 Erythemdosen — nach Waeber sogar 30—40 — ohne daß sie total zerfällt. Ungünstiger Einfluß in dieser Hinsicht kommt vielleicht nur der Hyperämie zu, welche ganz allgemein die Sensibilität der Körpergewebe steigert.

Infektionen während der Bestrahlung des Kollumkarzinoms sind besonders gefürchtet. Sie zu verhüten, darf man kein Mittel scheuen, das die moderne Gynäkologie uns in die Hand gegeben hat (Serum- und Vakzinebehandlung.) Zweifellos handelt es sich hier bisweilen um das Aufpeitschen älterer entzündlicher Prozesse, ein Vorgang, der natürlich nicht zu vermeiden ist (Belugin). Häufiger geht die Infektion von dem infizierten Karzinomgewebe aus, sei es, daß die Bakterien in die Parametrien hineingetrieben wurden, sei es, daß sie beim Durchschieben des Radiums durch den infizierten Zervixkrater nach der Uterushöhle und den Tuben verschleppt wurden. Die Entfernung des Radiums und das längere Aussetzen der Bestrahlung ist meist die sehr unerwünschte Folge der Infektion. Daß die Bestrahlung unter solchen Umständen leicht verzettelt und nahezu wertlos werden kann, braucht kaum betont zu werden.

Als Folge der Infektion hat Kehrer die schon von Chéron und Rubens Duval beschriebenen Radiumschwielen aufgefaßt, und ich glaube, daß diese Auffassung — wenigstens für die ganz derben Parametritiden — zu Recht besteht. Wenn wir später hören, welche Folgen die Radiumschwielen auch bei geheilten Fällen haben können, wird es uns eine doppelte Mahnung sein, die Infektionen während der Bestrahlungen möglichst zu vermeiden.

Fistelbildungen kommen bei der Radiumbestrahlung im Dickdarm (Rektovaginalfistel), im Dünndarm, in der Blase, in der Urethra und in den Ureteren vor. Sie sind in der Regel das Zeichen der Überdosierung, von der wir ausführlich gesprochen

haben. Bisweilen allerdings handelt es sich um Fisteln, die dadurch entstehen, daß das Karzinomgewebe eine Brücke zwischen zwei der genannten Hohlorgane bildete und durch die Bestrahlung eingeschmolzen wurde. Noch seltener treten die Fisteln als Folge von Spätschädigungen auf, über deren Entstehung wir heute noch zu wenig wissen und die wir deshalb auch nicht vermeiden können.

Über die Allgemeinschädigungen, welche mit der Strahlenbehandlung verbunden sind, wird an anderer Stelle noch zu sprechen sein. Nur auf zwei Bilder möchte ich hier hinweisen, welche wir bei der Radiumbestrahlung oft zu sehr unangenehmen Komplikationen führen sehen, das sind die Störungen der Rektumentleerung und die Zustände, die sich an die schrumpfende Parametritis anschließen.

Wird die Radiumbestrahlung beabsichtigt oder unbeabsichtigt in einer Höhe vorgenommen, bei welcher die Rektumwand nicht genügend geschützt ist, so kommt es nicht nur zur Schleimhautnekrose, sondern nachfolgend zu einer narbigen Heilung, welche manchmal zu einem fast völligen Verschluß des Mastdarmes führen kann. Wir haben Fälle gesehen, wo kaum mit einer Uterussonde durch die Stenose des Rektums hindurchzukommen war und wo sich die Fäzes hinter dieser Striktur in geradezu unglaublicher Weise gestaut hatten. Schrittweise und unermüdlich wiederholte Dilatation vermag das Leiden für kurze Zeit zu bessern. Trotzdem gefährden solche Stenosen durch das gestörte Allgemeinbefinden den Erfolg unserer Behandlung und sollten darum besser von vornherein vermieden werden.

Das gleiche gilt von den Schwielen im Beckenbindegewebe, deren Entstehung allerdings sehr oft weder vorausgesagt noch vermieden werden kann. In ihren Folgen aber ist die „Parametritis atrophicans radio-therapeutica" sehr unangenehm, weil sie zu einer Verzerrung der Baucheingeweide führt und zur Quelle unendlich zahlreicher Beschwerden werden kann.

Anhang.

Die Emanationsbehandlung.

Emanation entsteht aus dem Radium als gasförmiges Zerfallsprodukt. Ebensowenig wie das reine Radium sendet die Emanation γ-Strahlen aus. Derartige Strahlung kommt erst dem nächsten Zerfallsprodukt, dem Radium C, zu.

Emanation kann man, weil sie sich in Radium C umwandelt, in der Therapie der malignen Tumoren in der gleichen Weise verwenden wie das Radium selbst. Die Technik hat sich nur danach zu richten, daß die Emanation ein Gas ist.

Als Vorteile der Emanationsbehandlung werden im allgemeinen drei Dinge genannt:

1. die Unabhängigkeit von dem festen Präparat, welches dauernd in sicherer Aufbewahrung gehalten werden kann,

2. die Möglichkeit, der strahlenden Substanz jede beliebige Form und Ausdehnung zu geben,

3. die Art der Dosierung, welche in jeder beliebigen Größe leicht herzustellen ist.

Es kommt hinzu, daß die Wirkung der Emanation nach etwa $3^1/_2$ Tagen auf die Hälfte, nach $11^1/_2$ Tagen auf 10 % der ursprünglichen Intensität absinkt, wodurch es möglich ist, ohne eine Überdosierung befürchten zu müssen, Patienten mit eingelegten Emanationspräparaten zu entlassen.

Im allgemeinen ist die Emanationsbehandlung sehr wenig eingeführt. In Deutschland ist sie kaum bekannt und wird wohl nur von Holfelder angewendet. In Prag ist

es Tomanek, in Wien Heiner, welche ihr ein besonderes Interesse entgegengebracht haben.

Die Gewinnung der Emanation ist relativ einfach. Das Radiumsalz wird in Wasser gelöst und die Emanation, welche als Gas aus der Flüssigkeit entweicht, durch geeignete Apparate abgesaugt, gereinigt und in Glaskapillaren umgefüllt. In beliebiger Länge kann man die Glasröhrchen durch eine Stichflamme abschneiden und besitzt dann sofort die verwendungsbereite Emanation.

Die Messung der Emanation geschieht nach „Curie". Man versteht unter 1 Curie, diejenige Aktivität, welche mit 1 g Radium im Gleichgewicht sich befindet. Im praktischen Betrieb ist natürlich die Maßeinheit in der Regel das Millicurie, welches man mit mc bezeichnet. Praktisch geschieht die Intensitätsmessung dadurch, daß man den Vergleich zwischen einem bekannten festen Radiumpräparat und einem Emanationspräparat zieht. Becker hat neuerdings ein anderes Verfahren angegeben, bei dem es gelingt, die strömende Emanation genau nach ihrer Aktivität zu messen. Es handelt sich um das sog. Emanometer, dessen Prinzip darin besteht, daß die Emanation, welche aus einem gelösten Radiumpräparat entweicht, zunächst gesammelt und dann in einer genau bestimmten Zeit durch ein Röhrensystem geführt wird und dabei auf ein Ionisationsinstrument einwirkt. Die Messung mit dem Emanometer nach Becker erreicht an Genauigkeit vollkommen die Vergleichsmessung im radioaktiven Gleichgewicht, an Schnelligkeit ist sie der genannten Methode weit überlegen.

Was die Menge der Emanation betrifft, welche aus dem gelösten Radiumsalz gewonnen wird, so hängt es natürlich davon ab, welche Ausbeute die verwendeten Aufnahmeapparate ergeben. Rein theoretisch läßt sich berechnen, daß 100 mg Radiumelement in einem Tage ca. 17,5 mc, in 3,85 Tagen ca. 50 mc, in weiteren 30 Tagen ca. 100 mc liefern. Die entstehende Menge ist also nicht proportional der Zeit, sondern fällt nach und nach etwas ab, und zwar deshalb, weil nach dem Entstehen ein dauernder Zerfall der Emanation sofort einsetzt. Es ist deshalb zweckmäßig, jeden Tag die Emanation über dem gelösten Radiumsalz abzunehmen.

Der Zerfall der Emanation geht so vor sich, daß ihre Aktivität in 3,85 Tagen auf die Hälfte absinkt. Man nennt diese Zeit die Halbwertzeit der Emanation. Mit ihr muß man natürlich bei der Dosierung rechnen, weil die Aktivität Tag um Tag, und zwar nicht ganz gleichmäßig abfällt. Die Verminderung der Aktivität geht aus der folgenden Kurve (Abb. 20) hervor.

Die Emanation kann therapeutisch zwar direkt verwendet werden, doch ist ihre Umfüllung ins Glakapillaren die gewöhnliche Methode der Anwendung in der Gynäkologie, Chirurgie und Dermatologie. Statt der meist geraden Glaskapillaren, welche in Form dünnster Nadeln oder stärkerer Röhrchen (Tuben) verwendet werden, kann man die Emanation in jedes Gefäß von beliebiger Form und Größe einfüllen. Der leichteren Herstellung wegen behält man in der Regel die Bildung kleiner nadelförmiger Kapillaren bei und konstruiert größere Emanationsträger dadurch, daß man mehrere Kapillaren zusammenfügt. Die Emanationskästen, wie sie z. B. Failla angewendet hat, enthielten bis zu 70 Kapillaren mit einer Gesamtaktivität von 2000—2500 mc.

Die Anwendung der Radiumemanation geschah und geschieht in genau derselben Weise wie die des festen Radiumsalzes. Man hat — siehe Seitz — im allgemeinen zwei Hauptverfahren unterschieden, in denen die Emanation bei der Behandlung maligner Tumoren Verwendung findet:

1. das sog. Janewaysche Verfahren,
2. das Verfahren von Stevenson.

Janeway, dessen Kapillaren mit höchstens 1- 2 mc, in der Regel sogar nur mit $^1/_{10}$—$^3/_{10}$ mc geladen sind, kommen direkt in den Tumor ohne jede Filterung zu liegen und bleiben dauernd daselbst. Sie wirken einerseits entzündungserregend, anderseits wie ungefilterte Radiumpräparate, also mit β- und γ-Strahlen zugleich. Von Heiner wird die Methode als zu radikal bezeichnet, weil sie den Patienten erhebliche Schmerzen und Beschwerden bereitet. Die Frauen werden nach der Einführung der Kapillaren entlassen und kommen erst nach mehreren Wochen oder Monaten zur Nachuntersuchung und evtl. Nachbehandlung.

Stevenson verwendet Kapillaren, welche 10—30 mc Aktivität besitzen und in Platiniridiumnadeln untergebracht werden. Die Nadeln werden in Abständen von ca. 20—25 mm (Clark) in den Tumor eingestoßen und bleiben 18—24 Stunden liegen. Man berechnet die Gesamtdosis etwa so, daß pro Kubikzentimeter Tumor $^1/_2$ mc Aktivität verbraucht wird (Failla).

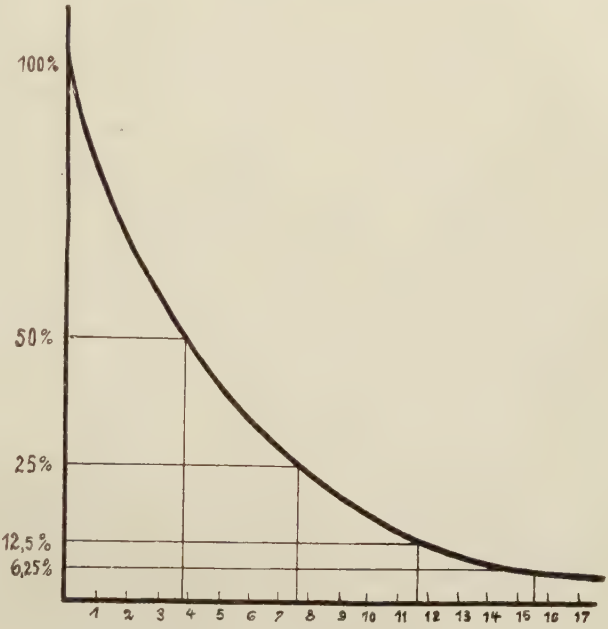


Abb. 20. Abnahme der Emanationsaktivität. Auf der Ordinate die Intensität, auf der Abszisse die Tage.

Die beiden genannten Verfahren sind seit 1914 im Gebrauch und werden besonders in Amerika und Frankreich verwendet. Es ist interessant, daß Wetterer in seiner jüngsten Übersicht über die ausländische Literatur keine spezielle Arbeit über Emanationsbehandlung veröffentlicht, woraus zu schließen ist, daß auch heute noch die Emanationsbehandlung keine allgemeine Verbreitung erfahren hat. Ich folge in meiner Darstellung den Mitteilungen, die Schmidt besonders aus der amerikanischen Literatur uns gegeben hat.

Die Emanationsbestrahlung übt in der gleichen Weise eine Allgemeinwirkung aus, wie wir sie vom Radium kennen. Bei der Resorption des Gases (intravenöse Injektion) sieht man eine schwere Beeinträchtigung des Stoffwechsels — negativer Stickstoff- und Phosphorbilanz — eine Schädigung des Blutbildes und einen unheilvollen Einfluß auf die bestehende Gravidität (Bagg). Selbstverständlich soll es bei der Emanationsbehandlung mit Glaskapillaren nicht zu einer Resorption der Emanation kommen, doch ist dieselbe bei Bruch der Kapillaren immerhin einmal möglich. Wir selbst haben es in Dresden vor Jahren erlebt, daß aus einem undicht gewordenen Radiumpräparat Emanation ausgetreten war und zu erheblichen Schädigungen der betreffenden Patienten — sogar mit Ulkusbildung an den äußeren Genitalien — geführt hatte.

Über die Technik der Emanationsanwendung haben besonders Failla, Clark, Duncan und Freer berichtet. Failla verwendet im Memorial Hospital in Neuyork nur Emanation oder radioaktive Niederschläge (fein verteilte radioaktive Substanz), niemals mehr das Radium selber. Seine Glasröhrchen enthalten 100—400 mc

Aktivität; seine „Packs" (Kästen) besitzen eine Aktivität bis zu 1000 und 2000 mc. Stets erfolgt eine Filterung mit Silber (0,5 mm) und 1,0—1,5 mm Platin oder 2 mm Blei. Werden hohe Dosen verabreicht, so wendet er perkutane Bestrahlungen an und vergrößert den Abstand zwischen Emanationspräparat und Haut auf 4—10 cm. Die Gesamtdosis berechnet er auf 10—18000 mc.

Clark verwendet Stahlnadeln aus nicht rostendem Stahl, welche 0,3 mm dick und 20—30 mm lang sind. Sie enthalten 10—20 mg Radiumsulfat oder die entsprechende Menge Emanation. Sie werden im Abstand von 20—25 mm direkt in den Tumor eingestoßen (Lokalanästhesie) und bleiben 18—24 Stunden liegen. Duncan verwendet 200—500 mc in Röhrchen und läßt dieselben 10—20 Stunden liegen. Seine Gesamtdosis berechnet er auf 6000—10000 mc-Stunden.

Freer, welcher über die Behandlung des Larynxkarzinoms berichtet, verwendet Emanationstuben von 0,8 mm Dicke und 15,8 mm Länge, mit einer Aktivität von 50—400 mc (im allgemeinen nur 50—100).

In der Dosierung und Indikation weichen die amerikanischen Autoren, welche die Emanation verwenden, kaum von der uns bekannten ab. Wiederholt wird besonders die Frühdiagnose als ausschlaggebend für den zu erwartenden Erfolg betont (Duncan, Wiggers). Taylor trat besonders warm für die Vorbestrahlung der karzinomatösen Tumoren ein. Samuel verabreicht pro Serie etwa 3600 Einheiten und wiederholt diese Serien noch zweimal in einem Abstande von 4 Wochen. Besonders interessant ist, daß er gleich uns (Dresden) die Erfahrung gemacht hat, daß ältere Frauen (über 60 Jahre) auffallend gut die Radiumdosierung vertragen.

Über die tödliche Dosis für die Karzinomzellen liegen zwei interessante Mitteilungen von Clark und Freer vor. Clark betont, daß 80—100 mg Radiumelement in 7 Stunden die Karzinomzellen abtöten, und Freer gibt an, daß eine lokale Dosis von 600—700 mc-Stunden genüge, um das Larynxkarzinom bis etwa in 1 cm Tiefe restlos zu zerstören. Die beiden Angaben stimmen auffallend gut zueinander. Betrachten wir unsere eigenen Zahlenwerte damit, so würde die Karzinomdosis der amerikanischen Autoren etwa unserer (Dresdener) H.E.D. entsprechen. Daß im Reagenzglas (Tumorkulturen) weit höhere Dosen notwendig sind, hatten bekanntlich Wood und Prime gezeigt.

Sehr hohe Dosen an Emanation verwendet Tomanek, der 1000 mc in die Zervix und 1000 mc perkutan auf beide Parametrien einwirken läßt. Allerdings scheint er diese Dosen nur eine Stunde zu applizieren. Auch Freer gibt an, daß er Drüsen der Halsregion mit 500—1000 mc 17 Stunden lang bestrahlt hat.

Aus unseren kurzen Ausführungen erkennt man leicht, daß irgendeine besondere Überlegenheit der Emanationsbehandlung über die Behandlung mit fester Substanz nicht festzustellen ist. Anderseits sind die Vorzüge der variablen Dosierung und Applikation zweifellos beträchtlich. Seit aber das feste Radiumsalz in kleine Teile (sog. „Radiumelemente", s. S. 577) zerlegt ist, verschwindet der Vorteil der variablen Form und Dosierung mehr und mehr, denn man kann mit Hilfe der kleinen Elemente sich jedes gewünschte Radiumpräparat schnell und rasch herstellen. Dann wird der Standpunkt Heiners verständlich, der die Behandlung mit fester Substanz der Emanation unbedingt vorzieht.

Ich selbst möchte vor allem der Verwendung der Radiumelemente das Wort reden, weil ihre Intensität nach Quantität und Raum sehr gut variiert werden kann und eine Verwendung der vorhandenen radioaktiven Substanz in der sparsamsten Weise möglich ist. Auch wird man bei allen Methoden der Anwendung vollkommen unabhängig von der einmal vorhandenen Form der Radiumpräparate. Die Formen stellt

man sich nach Bedarf her, die Ladung derselben geschieht auf Grund der Berechnungen und der geometrischen Verhältnisse durch die Einführung der Radiumelemente in geeigneter Weise in die hohlen stäbchen- oder plattenförmigen usw. Behälter.

Viertes Kapitel.

Die Röntgenbehandlung des Kollumkarzinoms.

I. Zur historischen Entwicklung.

Die Röntgenbehandlung des Uteruskarzinoms ist relativ spät aufgekommen. Sieht man die Angaben der Literatur durch, so findet sich bereits im gleichen Jahre, wo die Entdeckung Röntgens die Stätten der Wissenschaft und der Praxis auf den verschiedensten Gebieten befruchtete, die Röntgendiagnostik sich mächtig entwickeln. Heinrichs in Berlin (27. 3. 1896) und Spencer in London (April 1896) sind wohl die ersten gewesen, welche über Röntgenbefunde bei fötalen Mißbildungen berichteten. Von Therapie ist noch keine Rede, nicht einmal von besonderer biologischer bzw. physiologischer Wirkung der neuen Strahlen, obwohl bei der Diagnostik bisweilen Belichtungszeiten von mehreren Stunden zur Anwendung kamen[1]). Die erste Notiz in dieser Hinsicht scheint sich in dem Buche von O. Büttner und Müller (Erfurt 1897) zu finden, wo es heißt, daß über die physiologische Wirkung, d. h. über den therapeutischen Wert der Pyknoskopie (wie sich die Autoren ausdrücken) noch nichts bekannt sei, daß sich aber die Berichte mehrten über schädliche Wirkungen nach fortgesetzten Bestrahlungen. Dermatitiden und totaler Haarausfall werden hier als ganz besonders unangenehme Erscheinungen erwähnt.

Dann entwickelte sich als erstes die Behandlung der Myome und Metrorrhagien, welche Deutsch, Morton, Foveau de Courmelle, Albers-Schönberg, Immelmann, Gauß u. a. die größte Förderung verdankt.

Über Karzinombestrahlung mit Röntgenlicht berichtet wohl zuerst v. Leyden, aber nur mit einem Wort. Er erwähnt auf dem internationalen Krebskongreß in Heidelberg am 25. September 1906, daß er gewisse Besserungen mit Röntgen- und Radiumbestrahlung gesehen habe, über definitive Erfolge aber nichts berichten könne. Dann äußert sich Eltze, ein Schüler von Gustav Klein, ausführlicher über die Krebsbehandlung. 7 Fälle sind in der II. Münchner Frauenklinik behandelt worden. Sie waren alle inoperabel, doch zeigte sich, daß das Wachstum der Rezidive gehemmt wurde, daß die Schmerzen und die Jauchung sich besserten, daß aber eine Heilung nicht eintrat.

Wenn man die inhaltsschweren Schlußsätze der beiden hier an erster Stelle genannten Autoren bedenkt: „Der Erfolg blieb unseren Bemühungen versagt", und mit wissendem Auge die 17 Jahre überfliegt, welche seitdem die Geschichte der Röntgenologie weitergeeilt ist, so will uns der Glaube an eine bessere Zukunft fast verlassen. Welch ein begeisterungsvolles Hoffen in den ersten 10 Jahren nach diesen kümmerlichen Anfängen! Welch eine tiefe Niedergeschlagenheit gerade in unseren Tagen! Wo sind die Fälle, welche mit x-Strahlen je vom Karzinom dauernd geheilt sind, ruft uns die Skepsis zu, und schwer ist es, darauf eine klare, bündige Antwort zu geben, weil wir noch mitten in der Entwicklung stehen und alles

[1] E. Zweifel gibt an, daß Ziemssen bereits 1898 Röntgentherapie versucht habe; ich konnte die Angabe nicht nachprüfen.

Erreichte eine vorübergehende Täuschung sein kann. Aber wenn ich auch unseren Ausführungen und „Beweisen" damit weit voraneile, so muß ich doch schon hier betonen, daß zu der Bestrahlungstherapie des Uteruskarzinoms und noch mehr vielleicht anderer Karzinome ein gutes Stück Optimismus gehört, der immer wieder nach neuen Wegen und Methoden sucht und sich durch Mißerfolge, welche beim Karzinom doch wirklich nicht nur der Strahlenbehandlung beschert sind, nicht irremachen läßt. Ich brauche nur an die Heilung völlig inoperabler Fälle mich zu erinnern und finde — hoffentlich mit vielen Röntgenologen und Gynäkologen zusammen — darin die Kraft zu hoffnungsfroher neuer Arbeit.

Als sehr wichtig für die weitere Entwicklung der Röntgentherapie muß ich die Arbeiten von Gaylord und Cloves und Dessauer bezeichnen, welche etwa in die Zeit der ersten Röntgenbestrahlungen des Karzinoms fallen. Sie stehen in einem gewissen Gegensatz zueinander und stellen zwei Richtungen dar, welche in der Strahlenbehandlung des Uteruskarzinoms noch in unseren Tagen erkennbar sind.

Gaylord und Cloves berichten nach Beobachtungen an über 3500 Mäusen über die Spontanheilung des Karzinoms. Sie stellen fest, daß die Heilung des Karzinoms durch Röntgenstrahlen histologisch in derselben Weise vor sich geht wie die Spontanheilung: Atrophie der Epithelien, Bildung von Pseudoriesenzellen (Synzitien), Auftreten von Fremdkörperriesenzellen am Rande des nekrotisch werdenden Materials und Wucherungen des Bindegewebes. Mäuse, welche spontan vom Karzinom geheilt wurden, zeigten sich widerstandsfähig gegen weitere Krebsimpfungen. Die Fähigkeit der Abwehr konnte mit ihrem Blut auf andere Mäuse übertragen werden. Bei Heilungen durch Bestrahlung war ein gleicher Erfolg nicht deutlich zu beobachten.

Die Mitteilungen von Gaylord und Cloves, welche aus dem Cancer Research Laboratory der Universität Buffalo stammen, blieben ziemlich unbeachtet, doch kann man in der Folgezeit eine ganze Reihe von Untersuchungen verfolgen, welche bewußt oder unbewußt in der gleichen — biologischen — Richtung sich bewegen. Ich möchte hierzu vor allem die Arbeit von Eugen Bornait-Legueule erwähnen, der in einer Dissertation (Paris) ausführliche Mitteilungen über das histologische Verhalten bestrahlter Karzinome machte und feststellte, daß die Röntgenstrahlen sowohl auf Karzinomzellen wie auf Bindegewebszellen einwirken. Das Neoplasma verschwindet, das Stroma wuchert. Der erstgenannte Prozeß geht schnell, der zweite relativ langsam und zögernd vor sich.

Die Folgezeit bringt in biologischer Hinsicht relativ wenig neue Tatsachen, obwohl der Gedankengang als solcher immer noch — trotz der inzwischen durch Dessauer aufgerollten physikalischen Probleme (s. unten) — vorwiegend auf die Biologie und Physiologie der Strahlenwirkung gerichtet ist. So verlangt z. B. Albers-Schönberg eine sichere Wirkung der Strahlen, eine absolute Schonung der Haut und eine möglichst kurze Dauer der Therapie. Aschoff verfolgt das mikroskopische Verhalten der Karzinome und sieht schnell wachsende Krebse unter dem Einfluß der Strahlenbehandlung sich in langsam wachsende umwandeln und auch Rob. Meyer betont auf Grund seiner Beobachtungen, daß es sehr leicht möglich sei, daß die Heilung des Karzinoms sich unter Veränderung des Baucharakters, der inneren Struktur, vollziehe.

Ganz in der gleichen Richtung, d. h. immer wieder das biologische Verhalten der bestrahlten Karzinome berücksichtigend, liegen die Untersuchungen und Forderungen Teilhabers, der bis in die neueste Zeit der Förderung der lokalen und allgemeinen Abwehrkräfte des Organismus seine Aufmerksamkeit zuwendet. Die Erzeugung von Hyperämie und Leukozytose durch Wärmebehandlung und Diathermie (Müller) hat

keine andere Bedeutung als die, das Karzinom durch Einwirkungen vom Körper aus in seiner Aggressivität zu hemmen. Selbst die Sensibilisierung der Krebszellen, wie sie durch die Verwendung von Selen (Wassermann), Wolfram (Krukenberg) und Kupfer (Wintz) verursacht worden ist und ausgeübt wird, folgt dem gleichen Ziele.

Wenn wir hier das biologische Problem, das die Strahlentherapie des Uteruskarzinoms derart kennt, von Gaylord und Cloves ausgehend bis zu den modernsten Bestrebungen in geschlossener Linie verfolgt haben, so entspricht das nicht der geschichtlichen Wahrheit; die Entwicklung der Röntgentherapie ging andere, sehr viel verschlungenere Wege. Es wurde schon betont, daß fast gleichzeitig mit der Arbeit von Gaylord und Cloves Untersuchungen von Dessauer erschienen, welche die Röntgentherapie in ein ganz neues und für sie fruchtbares Fahrwasser brachten. Von Dessauer stammt das physikalische Problem, das die Röntgenologie noch heutigentages als eines ihrer vornehmsten kennt, über das sie in absehbarer Zeit nicht hinauskommen wird, auch wenn seine praktische Bedeutung für die nächste Zeit aller Voraussicht nach etwas mehr zurücktreten dürfte.

Dessauer legte sich die Frage vor, wie es gelingen könnte, eine bestimmte gewollte Dosis in eine beliebige Tiefe des Körpers zu bringen, ohne daß die Oberfläche (Haut) dabei geschadigt werde, und auf welche Weise man einen physikalisch definierbaren Wert ermitteln könne für die Größe der erzielten Intensität. Es kann nicht auf alle Einzelheiten dieser physikalischen Richtung eingegangen werden, sie sind an vielen Stellen der Literatur erörtert worden. Nur die Etappen, wie sie durch die Namen Christen, Friedrich, Krönig, Gauß, Hans Meyer, Wintz gekennzeichnet sind, sollen Erwähnung finden.

Das physikalische Problem hat über ein Jahrzehnt die Geister derartig wachgehalten, daß die traurigen Schlußresultate v. Leydens und Eltzes über die Heilung des Karzinoms mit Röntgenstrahlen fast vergessen wurden. In immer neuen physikalischen Fragestellungen und Fehlerquellen suchte man die Unzulänglichkeit der bisherigen Erfolge zu erklären und übersah, daß die Heilungen wegen biologischer Widerstände ausblieben. Und doch besitzen wir eine Reihe von Mitteilungen, welche schon mitten in diesem physikalischen Arbeitstaumel hätten ernst stimmen müssen. So erinnert Daels aus Gent schon 1912 daran, daß man die so hoffnungsvoll begonnene Serumtherapie des Karzinoms sehr mit Unrecht gegen die so höchst unsicher wirkende Röntgenbestrahlung eingetauscht habe, und Bumm zeigt in einwandfreier Weise, daß trotz gelegentlich geradezu überraschender klinischer Erfolge von einer anatomischen Heilung durch die Röntgenbestrahlung nicht die Rede sein könne. In gleicher Weise äußert sich Kaestle, und Meidner faßt sogar als Tagesmeinung auf, daß die Röntgenbestrahlung erst dort zuständig werde, wo die Chirurgen das Messer niederlegten. Wenn man das Gewicht dieser Stimmen rückblickend betrachtet, so ist es fast unverständlich, wie trotzdem die Röntgentherapie diesen gewaltigen Aufschwung oder Umfang hat annehmen können, den wir in der Tat beobachtet haben. Nach meiner Auffassung sind daran in allererster Linie die ungemein günstigen Erfolge schuld, welche von der Radiumbehandlung des Uteruskarzinoms mitgeteilt werden konnten; sie gaben immer wieder den Anstoß zu neuer Hoffnung, zu neuer Arbeit, und sie förderten die Tätigkeit der Industrie, welche bestrebt war, Strahlen herzustellen, welche den γ-Strahlen des Radium ebenbürtig oder wenigstens nahezu ebenbürtig sein möchten. Trotzdem kommen wir auch heute nicht um die Frage herum, welche schon v. Leyden und Eltze erhoben haben und welche die Schicksalsfrage der Röntgentherapie des Karzinoms ist, **ob Heilung vom Krebs mit Röntgenstrahlen möglich sei.** Wir fühlen uns verpflichtet, auf diese Frage den Hauptwert

unserer Ausführungen zu richten und sie bei allen Erörterungen nie aus dem Auge zu lassen. Das eine steht fest: der Mühe und Arbeit ist dieses Problem wert, aber nur wer das Problematische der Aufgabe sieht, darf hoffen, ans Ziel zu gelangen.

II. Röntgentechnik.

Unter Röntgentechnik verstehen wir, genau der Wortbildung entsprechend, die „Kunst" des Bestrahlens. Es ist die Bestrahlung des Karzinoms sicher nicht nur „Handwerk", welches dem „Röntgentechniker" überlassen werden kann (Wintz). Mit Recht betont auch Opitz, daß wir „jeden Fall als Problem für sich zu betrachten haben, daß jedes Schema unmöglich ist" und daß oft genug gerade dann „die ärztliche Kunst zu ihrem Rechte kommt und Triumphe feiert, wo die Schablone Schiffbruch leidet".

Deshalb fassen wir unsere gesamten nachfolgenden Betrachtungen unter dem Begriff der Röntgentechnik darin zusammen und sehen unser vornehmstes Ziel darin, überall dem Wesen, dem „Warum" und „Weshalb" jeder Maßnahme nachzuspüren, um auf diese Weise unnötigen Ballast zu erkennen und zu eliminieren bzw. notwendige Voraussetzungen stärker betont hervorzuheben. Dem ganz allgemeinen Problem der Bestrahlungskunst Rechnung tragend, welche heute nicht nur in der Bestrahlung als solcher, sondern auch in der Allgemeinbehandlung des Organismus ihre Aufgabe erblickt, werden wir da und dort Dinge einflechten, welche zwar noch nicht Allgemeingut der Röntgentherapeuten geworden sind, aber sehr der Beachtung bedürfen.

A. Vorbereitende Maßnahmen.

Ehe man die erste Bestrahlung durchführt, ist eine große Reihe von Beobachtungen, Überlegungen und Vorbereitungen auszuführen, über welche man sich im allgemeinen kaum noch Rechenschaft gibt, welche aber sehr wohl zur ganzen Bestrahlungstechnik gehören. Seitz-Wintz drücken sich in ihrem Buch „Unsere Bestrahlungsmethoden" einmal so aus: „Heute ist die Bestrahlung des Uteruskarzinoms nahezu eine Selbstverständlichkeit; man vergesse aber nicht, daß sie einmal ein ‚Entschluß' war!" Die Arbeit, welche auch heute noch eigentlich jeder Bestrahlung vorausgehen müßte, ist schon zum großen Teile geleistet und braucht von uns nur mehr oder minder reproduziert zu werden. Aber gehen muß jeder einmal den Weg, den die großen Pioniere der Röntgenkunst, Krönig-Friedrich, Seitz-Wintz, Warnekros-Dessauer angelegt haben, sonst kennt er sich nie aus. Ich meine: die Prüfung der Apparatur und Röhre, die Messung der Quantität und Qualität des Röntgenlichtes, die Beurteilung der biologischen Wirkung und Wirksamkeit und die Aufstellung eines Bestrahlungsplanes. Wintz teilt seine Technik in zwei Probleme: in ein medizinisch-physikalisches und ein biologisches. Das medizinisch-physikalische Problem ist es, was jeder Strahlentherapeut vor jeder Strahlentherapie sicher vor Augen und im Herzen haben muß; es umfaßt alles das, was „Eigenleben" zurückgibt und gewährleisten muß. Bis zu einem gewissen Grade stellt es den „konstanten Faktor" in seinem Rechenexempel dar.

Inkonstant und mit allen Vorzügen und Mängeln behaftet, welche das bunt schaffende „Leben" charakterisiert, ist der zweite, der biologische Faktor. Es ist uns schlechterdings unmöglich, die biologische Reaktion auf einen bestimmten Strahlenreiz genau vorauszusagen. Es sieht nur so aus, als sei eine physikalische Dosis dem biologischen Erfolg stets äquivalent. Für gewisse Fälle und bei grober Beurteilung der Ver-

hältnisse mag ein solcher Zusammenhang vorgetäuscht werden. So scheint das Hauterythem eine recht konstante Reaktion zu sein, welche man durch eine bestimmte Qualität und Quantität der Strahlung wohl charakterisieren kann. Wie sehr das ein Trugschluß ist, wollen wir weiter unten noch eingehend besprechen[1]); hier mag nur darauf hingewiesen werden, daß die Latenzzeit, die Höhe der Wirkung, das Abklingen derselben und die Restitutio enormen Schwankungen unterliegen kann. Und dabei ist die Haut ein „gesundes" Organ, das nicht wie ein krankes ganz anders auf einen Reiz ansprechen muß! Kranke Organe — dazu rechne ich auch die schrankenlos wachsenden asozialen Verbände der karzinomatösen Zellverbände — verhalten sich, wie tausendfältig bekannt ist, ganz anders gegen jeden Reiz; meist sprechen sie stärker darauf an, doch kommt auch das Gegenteil vor.

Der biologische, der eigentliche „Heilfaktor" nach Wintz, bzw. die Restitutionskraft des Organismus nach Warnekros, läßt sich also nicht mit Sicherheit vorausbestimmen. Trotzdem müssen wir versuchen, ihn „abzuschätzen".

Kein objektives Urteil — es sei denn die anamnestisch erhobene rapide Gewichtsabnahme —, sondern nur der subjektive „medizinische" Instinkt, unterstützt durch objektive Untersuchungsmethoden, helfen uns hier vorwärts. Wir halten einen guten Ernährungszustand für beachtlich, obwohl die Adipositas gerade bei karzinomatösen Frauen nicht ganz selten ist und mit der chronischen Anämie in Zusammenhang stehen könnte. Wie sehen einen Hämoglobingehalt von „noch" über 50% als prognostisch gut an. Wir beurteilen ein kleines Karzinom besser als ein großes, obwohl es doch eigentlich nicht so sehr auf die Größe als auf die Schnellwüchsigkeit und den endo- oder exophytischen Wachstumscharakter ankommt. Wir achten endlich auf den Konstitutionstypus der erkrankten Frau und erfragen die hereditären Verhältnisse, um über den vagotonischen oder sympathikonischen Zustand (Opitz) bzw. über die „allgemeine Krebsdisposition" bzw. die „lokale Bereitschaft oder Bedingtheit" ein Urteil zu gewinnen. Ja, wir erforschen sogar die sozialen und Berufsverhältnisse, um auch nach dieser Hinsicht unser Urteil zu stützen, nachdem wir durch Theilhaber wissen, daß das Karzinom eine Erkrankung des „arbeitenden Volkes" mit besonderer Bevorzugung des Fleischer- und Gastwirtsgewerbes ist.

Und noch weiter muß unsere Gedankenarbeit reichen. Wir müssen uns mit dem allgemeinen Verlauf und der **allgemeinen Prognose** der einzelnen Karzinomfälle beschäftigen, soweit sie uns durch eigene Beobachtungen oder fremde Mitteilungen zugänglich sind. Unsere Kenntnisse stecken in dieser Beziehung noch ganz in den Anfängen, auch ist es fraglich, ob es heute, wo jeder Fall möglichst sofort in Behandlung genommen wird, noch gelingen wird, die nötigen Daten zu erhalten. Nur weniges mag erwähnt sein: Karzinom und Basedowsche Erkrankung kommen sehr selten miteinander vor (Opitz), der Basedowsche Zustand schließt offenbar eine Karzinomentwicklung aus. Wenn das richtig ist, d. h. wenn es wirklich mehr oder minder die Funktion der Schilddrüse allein ist, welche solchen Einfluß hat, so wäre in Zukunft ein besonderes Augenmerk auf die formes frustes des Basedow zu lenken bzw. die Prognose solcher Fälle genau zu verfolgen. Etwas Ähnliches gilt für die Beziehungen zwischen Schwangerschaft und Karzinom. Zwar wird das Karzinom durch die Schwangerschaft nicht ausgeschlossen, doch haben sich hier Beobachtungen erheben lassen (A. Meyer, Kok), welche für die Besserung der Karzinomprognose sprechen. Wie es mit der Thymus steht, wissen wir noch nicht genau. Wir wissen nur, daß auch der Status thymico-lymphaticus das Karzinom mehr oder minder ausschließt und daß die Preßsäfte der Thymus eine kräf-

[1]) Siehe auch den Nachtrag auf S. 568.

tige karzinolytische Wirkung entfalten (Morgenstern). Die gleiche Eigenschaft besitzt auch das Blutserum des Neugeborenen (Freund-Kamminer), sie geht verloren, wenn zur Zeit der Pubertät oder auch noch später die Thymus allmählich der Atrophie verfällt. In welcher Beziehung die Hypophyse und das Ovarium zum Karzinomwachstum stehen, wissen wir noch kaum; Zusammenhänge sind aber auch hier wahrscheinlich, nachdem Hofbauer über Rückbildungsvorgänge in einem Vulvakrebs nach Hypophysenbestrahlung berichtet hat und nachdem ich selbst auf den merkwürdigen und überraschenden Erfolg kleiner Radiumdosen auf weit fortgeschrittene Kollumkarzinome evtl. mit Erhaltung der Ovarialfunktion hingewiesen habe. Die Operationsresultate von Thies, der nach Totalexstirpation des karzinomatösen Uterus unter Schonung der Ovarien (Emporschlagen derselben in Verbindung mit dem Lig. suspens. ovarii) die doppelte Heilungsziffer erreichte wie vorher, sprechen in demselben Sinne. Und endlich muß noch eines Organes gedacht werden, das offenbar eine ganz allgemeine Bedeutung für die Widerstandskraft des Organismus besitzt, der Haut. Die Haut als Sitz immunisatorischer Vorgänge (Müller), als Respirations- und Exkretionsorgan, als Organ der Wärmeregelung und vieler damit in Verbindung stehender Regulationen im menschlichen Körper (Stoffwechsel, Hämatopoese) darf aus unserem Bewußtsein nicht mehr verschwinden. Seit nun Opitz an dem Krönigschen Karzinommaterial gezeigt hat, daß alle Fälle rasch ein Rezidiv aufweisen bzw. heute alle nicht mehr am Leben sind, welche bei Großfeldbestrahlung an der Haut ein Erythem II. oder III. Grades aufwiesen, seitdem ist die Bedeutung der Haut auch für spezielle aktinische und allgemeintherapeutische Fragen in bezug auf das Karzinom über alle Zweifel erhaben. Aber: von der Funktion der Haut und der Karzinomprognose wissen wir deshalb nichts Gewisses; weite Lücken unseres Wissens gilt es hier noch zu schließen, wobei uns als Arbeitsmethoden die Kapillarmikroskopie, die elektrische Leitfähigkeit, die Überempfindlichkeitsreaktion und der respiratosische Quotient vorschweben.

Aber außer diesen ganz allgemeinen Fragen bewegen uns sehr oft ganz spezielle Probleme. Wie ist die hochgradige Anämie zu bewerten? Wie soll man einen Herzfehler beurteilen? Welche Bedeutung kommen einer enteritischen oder peritonealen Reizerscheinung und dem Fieber zu?

Was die **Anämie** betrifft, so ist sie beim Uteruskarzinom, falls nicht ungewöhnlich schwere venöse oder gar arterielle Blutungen bestanden haben, im allgemeinen nicht allzu hochgradig. Werte von 18 und 20% Hämoglobin, wie man sie bei myomkranken Frauen doch relativ oft findet, sind hier selten. Auch eine Leukopenie wird recht selten angetroffen. Findet man aber Werte von 25% Hämoglobin und 2000—3000 weißen Blutkörperchen, so erscheint es doch zweckmäßig, eine Vorbehandlung einzuleiten (s. auch Zumpe). Gewöhnlich wird in der Röntgenologie die Anämiebehandlung als Nachbehandlung erwähnt, offenbar weil man vor der Bestrahlung nicht allzuviel Zeit verlieren will. Ich möchte aber glauben, daß bei jeder ernsteren Blutarmut die Vorbehandlung unbedingt am Platze ist, kombiniert höchstens mit einer Therapie, welche sich die Verminderung von Blutung und Jauchung aus dem karzinomatösen Tumor zum Ziele setzt. Über die Methoden, welche hier in Frage kommen, brauche ich wohl nichts hinzuzusetzen, sie sind allgemein bekannt und müssen nach allgemein medizinischen Gesichtspunkten bewertet werden. Jeden Fortschritt muß der Gynäkologe und Röntgenologe verfolgen und sich zunutze machen.

Das **Herz** bedarf im allgemeinen keiner besonderen Beachtung, d. h. wirklich ernsthafte Schädigungen der Herzkraft sind unter dem Einfluß der Bestrahlungen bisher nicht bekanntgeworden. Trotzdem darf und soll das Herz nicht vernachlässigt werden. Auf zwei Dinge, welche unmöglich für die Herzkraft bedeutungslos sein können, möchte

ich nur hinweisen. Erstens auf die Kochsalzverarmung des Blutes (Sielmann) nach der Bestrahlung und zweitens auf das Absinken des Blutzuckerspiegels (Nürnberger). Die Verminderung der Natriumionen im Blut kann nicht gleichgültig sein; wir wissen heute zu genau, welche Bedeutung der Ionenverschiebung für die Aktion der glatten und quergestreiften Muskulatur zukommt (Rubino und Varela, Merdler, Lahm). Und der Blutzucker, der das Energiereservoir für die Arbeitsleistung der Organe darstellt, scheint mir von noch größerer Wichtigkeit. Es ist sehr die Frage, ob man nicht auch den Blutzuckerverlust, ähnlich wie den Kochsalzverlust, therapeutisch ausgleichen sollte. Derartige Methoden sind in der Behandlung der Herzkrankheiten bereits bekannt und bedürfen nur der Übertragung.

Daß **Darm und Blase** bei der Röntgenbestrahlung einer besonderen Beachtung bedürfen, ist lange schon Gemeingut der Röntgenologen geworden (v. Franqué, Seitz-Wintz, Fischer, M. Müller). Erstens dürfen beide Organe nicht durch Überdosierung geschädigt werden, zweitens soll ihre starke Füllung sie nicht an einen Ort bringen, wo man sie im allgemeinen nicht vermutet; die Folge davon ist auch hier in der Regel wieder die Überdosierung. Wir werden davon später noch zu reden haben. Was uns hier interessiert, ist der Reizzustand von Darm und Blase, den man als Entzündung bezeichnen kann und der seine Ursache in den verschiedensten Momenten findet. Die chronische Kolitis, mit Flatuleszenz und Druckschmerzhaftigkeit besonders im Bereich des Koekum und der Flexura sigmoidea, ist nicht nur eine Spätfolge der Ruhr und anderer akuter Darmerkrankungen, sie hat sich vielfach auch als Folge der zellulosereichen, unzweckmäßigen Kriegsernährung gezeigt (H. Strauß). Es kommt hinzu, daß der enterogene Reizzustand noch durch peritoneale Prozesse, welche vom Peri- oder Parametrium ausgehen, gesteigert werden kann. Als Folge beobachtet man dann bisweilen eine Druckempfindlichkeit des Leibes, welche lebhaft an eine Peritonitis erinnert und von derselben auch dem Wesen nach vielleicht nur durch das Fehlen der Temperatursteigerung unterschieden ist. Es versteht sich von selbst, daß derartige Zustände sowohl primär das Befinden der kranken Frauen beeinträchtigen müssen, wie sie auch ganz besonders unangenehme Verschlimmerungen nach der Bestrahlung aufweisen können. Therapeutisch wird von Internisten in diesen Fällen das Pfefferminzöl — in Form der Goldammerschen Pillen — und Diätwechsel empfohlen.

Für den Gynäkologen und Röntgenologen ist es wichtig zu wissen, daß man in solchen Fällen die gewünschte Darmreinigung nicht mit drastischen Mitteln, wie Rheum und Aloe, vornimmt, überhaupt jeden Reiz möglichst vermeidet, sondern mit Rizinus, besser noch mit milden Einläufen (auch Öleinlauf), zum Ziele zu gelangen sucht. Besteht eine wirkliche Enteritis mit profusen Durchfällen, so verbietet sich sowieso die sofortige Bestrahlung. Man möchte nur immer bedenken, daß man als Gegenmittel nicht Wismut (Eigenstrahlen!) gebrauchen darf, sondern die Tanninpräparate (Tannalbin, Tannigen) und Bolus alba verabreicht.

Was endlich die **Fiebersteigerungen** betrifft, so bilden sie nicht ohne weiteres eine Kontraindikation gegen die Bestrahlung. Nicht nur, daß durch die Bestrahlung der Stickstoffverbrauch, der im Fieber vermehrt ist, nicht weiter durch die Röntgenbestrahlung gesteigert wird (Hauenstein), haben wir — und wohl auch andere — oft genug bei bestehendem Fieber bestrahlt, ohne daß größere Beschwerden die Folge waren. Trotzdem wird man eine hochfiebernde Frau (über 38,5) oder eine solche, bei der das Fieber einen akuten Charakter hat, nicht ohne zwingenden Grund unter die Röhre legen. Jede fiebernde Patientin befindet sich mehr oder minder in einer negativen Phase, in der sie ihre volle Abwehrkraft nicht besitzt. Wir haben uns besonders bei der Radium-Röntgenbehandlung öfter im Zweifel befunden, ob wir das Fieber erst abklingen lassen

sollten oder bestrebt sein müßten, die Radiumdosis „auszunutzen". Ist die Pause zwischen beiden Serien zu lange, geht die Wirkung zweifellos zum größten Teile verloren. Ich glaube, man kann sich in folgender Weise helfen: Besteht keine Temperatursteigerung über 38,5 und ist das Abdomen weich und nicht druckempfindlich, hält sich vor allem der Puls innerhalb der „Fiebergrenze" (bei 38,5—90), so kann man unbedenklich bestrahlen. Peritoneale Reizerscheinungen und die Möglichkeit der Beckenthrombose halten mich ganz bestimmt von der Bestrahlung ab. Bei Thrombenbildung in den Beckenvenen habe ich ganz akute Verschlimmerungen sofort nach der Betrahlung auftreten sehen.

Zu den sog. vorbereitenden Maßnahmen gehört auch die Entscheidung der Frage, ob ambulant oder stationär, d. h. bei klinischer Aufnahme bestrahlt werden soll. Wintz spricht sich unbedingt für die klinische Aufnahme aus, Martius bezeichnet sie als erwünscht. Sicher ist, daß die Kostenfrage nicht selten entscheidend ins Gewicht fällt, zumal manche Kassen die Einrichtung haben, daß nur der Klinikaufenthalt oder die Bestrahlungskosten bezahlt werden. Die kombinierte Radium-Röntgenbestrahlung muß stets klinisch durchgeführt werden, die alleinige Röntgenbestrahlung haben wir oft ambulant vorgenommen, und nur selten sind uns die Frauen zu den planmäßig vorgesehenen Sitzungen ausgeblieben. Allerdings ist es dabei nicht gleichgültig, mit welcher Methode man bestrahlt; bei der Großfeldermethode von Warnekros-Dessauer blieben die Frauen oft gern im Hause, wenn sie erst zwei Felder hatten; ihr Zustand verbot ihnen ohne weiteres an den Heimweg zu denken. Die zweiten und dritten Nachbestrahlungen, welche ich neuerdings mit relativ kleinen Dosen vornehme, lassen sich leicht ambulant durchführen; zur Not bleiben die Frauen eine Nacht in der Klinik.

B. Die Dosierung.

1. Allgemeines.

Über Dosis, Dosierung, Dosisbegriff und ähnliches ist soviel geschrieben worden, daß sich die Feder fast sträubt, das Kapitel neu aufzurollen. Es scheint so einfach das Problem, und doch, welche Schwierigkeiten hat man aus ihm ausgegraben! Es ist kein Zweifel: der Erfolg der Karzinombehandlung steht und fällt mit der Karzinomdosis! Mag Holzknecht noch so bewußt die biologische Seite des Dosisbegriffes gegen die physikalisch-technische hervorgehoben haben, mag er noch so überzeugend darzutun versuchen, daß die Karzinomdosis nunmehr gestorben sei — an die ungeheuer tief ins Zelleben des Neoplasmas eingreifende Wirksamkeit der strahlenden Energie glaubt er doch! Wer die Vorträge Holzknechts in seiner Röntgenologie II mit liebevollem Eingehen und ganz im Sinne des Autors liest, dem wird das Herz immer banger und starrer, je weiter er vordringt. Was gestern noch groß und in scharfen Umrissen vor uns zu stehen schien, wird klein und verschwimmt, was wir gestern noch — und sei es etwas schematisch und doktrinär — gelehrt und gelernt, grinst uns heute als hohle Phrase an, die vor dem kritischen Auge des Fachmannes im Nachbargebiet — des Biologen und Physikers — nicht mehr bestehen kann. Wie eine große Tragik lesen sich die Vorträge, und oft fröstelt es uns, wenn wir den Autor mit fast überscharfer Kritik und Selbstkritik sprechen hören. Da auf einmal schließt die Sache so befreiend, so erlösend, daß man ordentlich aufatmet: das Karzinom hat doch eine Achillesferse, die auch Holzknecht anerkennt, hat doch eine Stelle, wo es bis zum Tode verwundbar ist: seine Mitose, seine Chromatosomen! Und fast ebenso begeistert, wie er vorher resigniert war, klammert sich Holzknecht an die Theorie von Schinz und Régoud, und man fühlt es ordentlich, wie ihm der Optimismus, wie er sich für jeden Röntgenologen

schickt, weit mehr liegt als der Pessimismus. Selbstkritik ist sicher gut, ob wir aber immer und überall unser eigener Richter sein sollen, ist doch die Frage!

2. Der Dosisbegriff und die Karzinomdosis.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, den Begriff der Dosis in physikalischer und biologischer Hinsicht erschöpfend darzustellen. Ich möchte ihn insoweit klar herausarbeiten, als er zur praktischen Arbeit notwendigerweise definiert sein muß.

Krönig und Friedrich hatten erstmalig den Begriff der Karzinomdosis festgelegt. Sie verstanden darunter eine Strahlenintensität, welche eine deutlich sichtbare und tastbare Verkleinerung des Karzinoms zur Folge hatte. Gültig war diese Karzinomdosis zunächst nur für das Mammakarzinom und für die einmalige Bestrahlung. Zugleich stellten Krönig und Friedrich fest, daß weitgehende individuelle Schwankungen zu beobachten sind, so daß man bei der Fixierung der Dosis in einer bestimmten Zahl (Intensität) nur von einer „mittleren" Karzinomdosis sprechen dürfe. Die Intensitätszahl gaben Krönig und Friedrich in „absoluten Einheiten" an und nannten dafür 140e. Die Hautdosis hatten sie entsprechend mit 170, die Ovarialdosis mit 30e gefunden. Es mag betont sein, daß Krönig und Friedrich die biologische Wirksamkeit in völliger Abhängigkeit von der physikalischen Dosis glaubten, d. h. nicht die Qualität der Strahlung spiele irgendeine Rolle, sondern nur die Quantität der Strahlung, die „pro Raumeinheit absorbierte Energie".

Nach Krönig und Friedrich haben Seitz und Wintz die Karzinomdosis bestimmt, und zwar für das Uteruskarzinom. Von möglichst genauen physikalischen Versuchsbedingungen ausgehend (Messung und Konzentration der Strahlung), beobachteten sie an etwa 130 Fällen, daß das Portio- und Zervixkarzinom primär verschwindet, wenn man 90—110% der Hautdosis an dasselbe heranbringt. Die Hautdosis entsprach 35 Abläufen ihres Elektrometers, die Karzinomdosis also 31—35 Anläufen. Die sog. Ovarialdosis fanden sie bei 12 Abläufen.

Auch Warnekros hat die Karzinomdosis bestimmt; er ist sich ebenso wie Krönig und Friedrich bewußt, daß große Schwankungen (Sensibilitätsunterschiede) vorkommen, doch setzt er keinen mittleren, sondern etwa den oberen Wert fest und definiert ihn durch die Dauer einer Bestrahlung bei genau festgelegter Qualität und Quantität des Röntgenlichtes (Intensiv Reformapparat, 200 KV, 2,0 MA 0,8 mm Cu + 1 mm Al, 30 cm Fokushautabstand, Strahlenkegel 56 × 35° Öffnung). Haut- und Karzinomdosis stehen in einem Verhältnis von 100:85, wobei zu beachten ist, daß die Haut bis zur dunkelroten Verfärbung, blasiger Abhebung der Epidermis und seröser Ausschwitzung der Wundfläche bestrahlt wird (Hautmaximaldosis). Als Testobjekt dienten karzinomatöse Leistendrüsen bei inoperablem Uteruskarzinom.

Es ist darauf hingewiesen worden (Martius), daß die Karzinomdosen der genannten Autoren eine auffallende Übereinstimmung erkennen lassen, die ganz besonders dann hervortritt, wenn man die Vergleichsbasis, d. h. die Hautdosis überall gleichmacht. Zweifellos ist die Erlanger Hautdosis (H.E.D.) die kleinste: leichte Rötung nach 8—10 Tagen, zarte Bräunung nach 3—4 Wochen, die Berliner die größte, während Freiburg in der Mitte steht (Erythem 1°). Selbstverständlich läßt sich eine Umrechnung auf gemeinsame Basis vornehmen. Aber: schon Warnekros hat darauf hingewiesen, daß die Erythemdosis um 30—40% schwanken kann, und Bachem hat dies durch seine Untersuchungen in den verschiedensten Instituten bestätigt. Schwankt aber die „Basis" in einem derartigen Umfang, so schwankt

auch der ganze Überbau; nimmt man hinzu, daß Freiburg die „mittlere" Karzinomdosis meint, Berlin die „obere" Grenze, so wird die behauptete Übereinstimmung recht illusorisch (vgl. auch den Nachtrag auf S. 568).

Aber — und dies scheint mir der springende Punkt in der ganzen Angelegenheit — wenn auch keine Übereinstimmung bezüglich der Dosishöhe besteht, so bleibt doch die Tatsache bestehen, daß es eine Karzinomdosis, d. h. eine Röntgenintensität gibt, bei welcher manche Karzinome so schwer geschädigt werden, daß sie verschwinden (absterben). Voraussagen können wir diese Dosis nicht.

Nach dieser Definition könnte jemand einwenden, der Begriff der Karzinomdosis sei völlig illusorisch. Dieser Meinung bin ich nicht. Als Dosis bezeichnen wir eine Röntgenenergie. Als Karzinomdosis bezeichnen wir eine Röntgenenergie, welche bei karzinomkranken Frauen zur Anwendung kommen soll. Es versteht sich von selbst, daß die Karzinombestrahlung ein Würfeln um Sein oder Nichtsein darstellt, bei dem bis zur erlaubten Grenze bestrahlt wird. Diese Grenze ist natürlich biologisch gezogen. Wir wissen alle, daß sie nicht von einer bestimmten „Organdosis" oder „Hautdosis" in Abhängigkeit steht, sondern durch den Zustand und die Reaktionsfähigkeit des Gesamtorganismus gegeben ist.

Die Karzinomdosis ist also ein **Maximum!** Sie wird bestimmt:

a) durch die Quantität und Qualität der Strahlung,
b) durch die Zeitdauer der Bestrahlung,
c) durch das Volumen des durchstrahlten Körpers,
d) durch die Dignität der getroffenen Organe.

In der Karzinomdosis unserer Definition steckt also bis zu einem gewissen Grade die Raumdosis; sie enthält aber auch den Begriff der Toleranz- und Minimaldosis; sie ist mit einem Wort eine Behandlungsdosis.

Definiert ist die Karzinomdosis des Uteruskarzinoms bisher meines Erachtens erst einwandfrei durch Seitz-Wintz, Opitz-Friedrich und den Verfasser.

Seitz-Wintz geben an: Symmetrieinstrumentarium, selbsthärtende Siederöhre, 38 cm Funkenstrecke, 0,5 mm Zinkfilterung, 2,5 MA. Stromstärke, 23 cm Fokushautabstand, Feldgröße 6 × 8 cm, 7 Felder, je 28 Minuten Bestrahlung (bis zur vollen H.E.D.). Zweimalige Wiederholung mit je 6—7 Wochen Pause.

Opitz-Friedrich fordern: Homogenbestrahlung, Anwendung von 2 Großfeldern von Bauch und Rücken, Feldgröße 16 × 18 cm, Dosis 150 c im Bereich der Portio, Belastung der Haut nicht über die einfache Erythemdosis. Zusatzbestrahlung mit Radium. Nur einmalige Bestrahlung.

Lahm bestrahlt bis zur lokalen und allgemeinen Erträglichkeit, d. h. bei Mehr- und Klein- und Mittelfelderbestrahlung bis zur Dosis von 100 bis 110% an der Portio. Ein- bis zweimalige Wiederholung. Kombination mit Radium, dessen Dosierung individuell geregelt wird. Addition der Dosen darf am Rektum 150% der H.E.D. nicht überschreiten[1]).

Nachdem wir in dieser Weise den Begriff der Karzinomdosis festgelegt haben, könnte es sich erübrigen, auf die verschiedenen Kontroversen näher einzugehen. Trotzdem soll der Vollständigkeit halber auch die Opposition gegen jeden Dosisbegriff zu Worte kommen. Holzknecht ist bisher wohl als der schärfste Gegner und Kritiker aufgetreten, wir wollen sehen, was er sagt.

[1]) Die H.E.D. betrug bisher etwa 950—1000 R und ist jetzt auf 600 R zurückgeschraubt.

Holzknecht sieht „die freie Entwicklung der Röntgentherapie zum Heile der Menschheit" von drei Seiten bedroht:

1. von der Lehre von der Verzettelung der Dosen,
2. von der Lehre von der Reizwirkung,
3. von der Lehre der Wirkungsverminderung durch ungenügende Dosierung.

Kein Zweifel: jede allzu scharf betonte Lehre (mit Gesetzeskraft!) muß eine aufblühende, rasch vorwärts eilende Methode hemmen und ersticken. Und in einer gewissen Gefahr haben wir zweifellos gestanden, uns von „grauer Theorie" beherrschen zu lassen, wo „nur des Lebens goldener Baum" uns gute Früchte bringen kann. Insofern ist Holzknecht nur zu danken, daß er — wohl einer der ersten! — seine Stimme erhob, um die Röntgenologie auf ihre „Grundlagen", den „gesicherten biologischen und pathologischen Wissensbesitz" zurückzuführen. Aber: was Holzknecht als „Bedrohungen" bezeichnet, sind Etappen unserer Röntgentheorie; die Röntgenpraxis ging vielfach — Gott sei Dank! — ihre eigenen Wege. Und weiter: daß fast mit einem Schlage an vielen Stellen die Abkehr von dem „ingenieurmäßigen" Gebrauch der Röntgenstrahlen eintrat — Holzknecht nennt Régoud-Paris, Holthusen-Hamburg, Schinz-Zürich, Hirsch-Neuyork —, kann doch nicht Zufall sein. Die Röntgenologie ist nicht im Begriff des Erstarrens gewesen, sie hat sich besonnen auf ihre Grundlagen und strebt nun neuen Zielen nach. Ich habe schon in der historischen Übersicht auf die zwei Richtungen in der Röntgenlehre — die biologische und die physikalische — hingewiesen und muß sagen: ohne Physik und Mathematik, ohne „Wägen und Messen" (Seitz-Wintz) können wir auch biologisch nicht weiterarbeiten und hätten nie die Basis erreicht, von der aus wir jetzt ins biologische Neuland vorstoßen. Wie sehr doch auch die Röntgenologen Ärzte gewesen sind, sehen wir mit beinahe klassischer Deutlichkeit an Seitz und Wintz, welche trotz der Überzeugung, daß die Karzinomdosis nur durch einzeitige Anwendung von 100—110% der H.E.D. zu erreichen sei, aus biologischen, rein ärztlichen Gründen (Blutuntersuchungen usw.) den „Wettlauf" mit dem Karzinom aufnahmen und alle 6—7 Wochen bestrahlten!

Auch theoretisch lagen die Verhältnisse vielleicht nicht ganz so schlimm, wie man nach den zum Teil doch recht scharfen Ausführungen Holzknechts (Vortrag VIII) denken könnte. Ich darf in diesem Zusammenhange vielleicht auf das Kehrersche Radiumreferat vom April 1920, an dem ich die Ehre hatte mitzuarbeiten, hinweisen. Dort heißt es im Abschnitt über die medizinische Dosimetrie (S. 70): „Bei der medizinischen Strahlendosis handelt es sich um eine Reizgröße, welche von einem bestimmten Erfolg begleitet ist, sie ist kein feststehender, sondern ein relativer Begriff. — Von Wichtigkeit für die zu erzielende und erzielte Wirkung ist auch der Zustand des Erfolgsorgans sowie des Allgemeinorganismus. Es spricht das kranke Herz auf Digitalis an, während das gesunde keine Steigerung der Arbeitsleistung erkennen läßt; der biologische Erfolg ist eine (Energie-) Transformation, in der Pharmakologie an die direkte chemisch-physikalische Bindung, hier an die physikalische Umwandlung der absorbierten (?) Strahlung in sekundäre und Fluoreszenzstrahlung gebunden. Und wie man die Epithelkörperchen oder die Schilddrüse wegen ihrer besonderen Affinität zu Kalk und Jod als Kalk- oder Jodsammler bezeichnen könnte, so läßt sich in der Strahlentherapie von ‚Strahlensammlern' sprechen, insofern alle die Zellen, welche Metalle von einem Atomgewicht über 27 als Bausteine enthalten, während der Dauer der Bestrahlung zu Eigenstrahlung werden und die Wirkung der Bestrahlung potenzieren können. Die Erklärung des feineren Vorganges der Wirkung wird in der Medizin von der pharmakologischen, in der Strahlentherapie von

der physikalischen Analyse erwartet. Beide Formen der Zerlegung können aber nur zu Änderungen bezüglich der Einverleibung des Mittels im weitesten Sinne des Wortes, zu Verbesserungen der Resorption usw. führen, aber nichts Neues bezüglich der Dosis bestimmen, es sei denn, daß das Mittel von Grund aus verändert würde. Daraus ergibt sich, daß das Problem der (Radium-) Dosierung nicht durch eine physikalische Analyse des Erfolges, sondern nur durch Empirie und Experiment geklärt werden kann (auch im Original gesperrt). Solange wir über Physiologie und Pathologie der Zelle, insbesondere in ihrem Verband, noch so ungenügend orientiert sind wie bisher, solange wird auch die biologische Komponente des Strahlenerfolges für uns unfaßbar bleiben, mögen wir über die Art der Transformation in elektrische, chemische und physikalische Wirkungen auch noch so genau unterrichtet sein."

Darin ist meines Erachtens ganz klar die Abkehr bzw. die Abwehr von unberechtigten und unzweckmäßigen Einflüssen der Physik auf ein rein biologisches Problem enthalten. Was auffallen muß und meines Erachtens bisher noch nie scharf betont wurde, ist die schiefe oder zweideutige Begriffsbestimmung der Karzinomdosis. Ich habe schon oben hervorgehoben — und auch in dem zitierten Abschnitt ist es betont —, daß die Karzinomdosis eine „Portion Röntgenstrahlen", eine Energie-, eine Reizgröße ist! Sie ist nicht eine in Zahlen ausgedrückte biologische Reaktion! Daran möchten wir uns in Zukunft immer halten.

Ich muß mit einigen Worten noch auf die Fragen eingehen, deren einseitige Beantwortung nach Holzknecht eine so große Bedrohung für die erfolgreich fortschreitende Röntgenologie darstellt.

a) Verzettelung der Dosen.

Von der Haut wissen wir, daß die Erythemdosis, auf drei etwa gleiche Portionen verteilt, kein Erythem hervorruft, wenn zwischen den einzelnen Bestrahlungen ein Zwischenraum von mehreren Tagen liegt. Die gleiche Beobachtung hat sich an anderen biologischen Objekten, z. B. an den Wurzelkeimlingen der Vicia equina dartun lassen. Daraus wurde der Lehrsatz aufgestellt: Die zeitliche Konzentration ist für den vollen Strahlenerfolg notwendig. Obwohl das zweifellos ein übereiltes Urteil war, wurde die neue Erkenntnis sofort in die Therapie des Karzinoms eingeführt und die Forderung der einzeitigen Bestrahlung erhoben.

Hält man dem Ausfall des Erythemversuches den anderen gegenüber, daß nicht gekeimte Bohnen die einmal empfangenen Strahlenreize bewahren und voll addieren (Jüngling), so fällt mit einem Schlage die ganze Lehre von der Verzettelung der Dosen in sich zusammen. Wiederum scheint ein biologisches Problem sich darzutun: die ruhende, langsam sich wandelnde Zelle empfindet die Pausen nicht! Nähme ihr Entwicklungsgang 1 Jahr ein, so kann eine Pause von wenigen Tagen nichts ausmachen; verläuft er in 10 Tagen, dann können schon Stunden ihren Einfluß geltend machen. Leicht müßte es sein, solche Fragen am winterschlafenden Tiere zu prüfen, bei dem zur Sommerszeit die Reizsummation eine andere sein müßte als zur Winterszeit.

Nicht ganz in den Rahmen dieser Betrachtungen paßt der Kaißersche Impfversuch. Kaißer hat bekanntlich Tierkarzinome in vitro mit mehrfacher Karzinomdosis bestrahlt und mit dem gleichen Material noch positive Impfresultate erhalten. Schon Seitz hat betont, daß der Ausfall dieser Versuche nichts mit der Karzinomdosis als solcher zu tun hat. Die in vitro gehaltene Krebszelle hatte ihren Stoffwechsel auf ein Minimum eingestellt — sie nimmt z. B. keinen Sauerstoff auf (Piccaluga) — und kann infolge-

dessen eine ganz andere „Sensibilität" gegen die Strahlen besitzen als in vivo. „Ruhende Zellen" sind nach dem Bergonniéschen „Gesetz" immer unempfindlicher als arbeitende. Aber: wenn den ruhenden Zellen im Gegensatz zu den virulenten die Fähigkeit der Reizspeicherung zukommen soll, wie es Jüngling angenommen hat und auch wir hier vorausgesetzt haben, so müßte die Radiosensibilität ein „Faktor an sich", eine „Arteigentümlichkeit" sein, die sofort manifest wird, sobald das ruhende Gewebe tätig wird.

Und doch läßt sich auch hier wieder die Brücke schlagen. Durch Schinz wissen wir, daß es eine optimale Karzinomdosis gibt, welche nach zwei Richtungen hin ganz genau bestimmt ist; erstens bezüglich der absoluten Höhe, zweitens bezüglich der Reizfolge: nicht die einmalige Bestrahlung stellt das Dosisoptimum dar — wenigstens nicht insofern, als es sich um die Vernichtung des Karzinoms handelt —, sondern die mehrmalige Bestrahlung. Ist das richtig, so bestizen die Kaißerschen Versuche keine Beweiskraft, und wir werden sehr viel umlernen müssen. Dann erst wird sich auch das Problem der verzettelten Dosen klar enthüllen. Nur eines ist schon heute richtig: es haftet dem Ausdruck der „Verzettelung" nicht mehr das Odium der Minderwertigkeit an (Holzknecht).

b) Die Reizdosierung.

Hier muß ich mich voll und ganz den Ausführungen anschließen, welche Holzknecht gegeben hat. Es fällt mir das um so leichter, als ich persönlich nie an das geglaubt habe, was die Röntgenologen und Gynäkologen als „Reizdosis" bezeichnet haben. Mit 30—40% der H.E.D. sollte es gelingen, das Karzinom zum Wachstum anzuregen (Seitz-Wintz). Ich glaube, man kann kein schlagenderes Argument gegen diese Annahme vorbringen als den Hinweis auf die Tatsache, daß die ersten Röntgentherapeuten solche Dosen gar nicht besaßen und trotzdem nur von Wachstumsstillstand und Rückgang der Karzinome berichtet haben (Holzknecht). Etwas Derartiges wäre undenkbar, wenn es eine „Reizdosierung" gäbe.

Damit könnte ich diesen Abschnitt eigentlich verlassen, und trotzdem möchte ich noch ein Wort für den Begriff der Reizdosierung sagen. Wachstumsreize am Karzinom sehen wir nicht, wohl aber Entzündungsreize am Gefäßbindegewebsapparat (Rötung) und Anregung bestimmter Funktionen (Niere, Ovarium, Hypophyse). Hier liegt noch ein Widerspruch. Widersprüche aber sind die dankbarsten Handhaben für neue Erkenntnis. Wenn wir uns der histologischen Untersuchungen erinnern — ich darf auf meine eigenen (1913) und die von Haendly hinweisen —, so hören wir von Degenerativwirkungen an den Karzinomzellen und am Bindegewebe (wenigstens anfangs) mit nachfolgender Hyperämie, Exsudation und Wucherungserscheinungen am Bindegewebe (2. Stadium). Es ist das eine Reaktion, wie wir sie in der gleichen Art beim infektiösen Bindegewebsprozeß und bei der Proteinkörpertherapie erleben. Nehmen wir die letztere: spricht man hier nicht auch von einer „Protoplasmaaktivierung", obwohl wir ganz genau wissen, daß sie die Folge erst eines Abbaues ist? Auch die Latenzzeit der Wirkung paßt ausgezeichnet zu einer solchen Auffassung.

Danach würde man als „Reiz"bestrahlung eine Aktivierung von (protoplasmatischen) Lebensvorgängen zu verstehen haben. Ursache dafür könnte der Zerfall von Eiweiß durch die Strahlenwirkung sein. Der Nachweis dafür ist bekanntlich auch in vitro bereits erbracht[1]) (Strauß).

---

[1]) Wie die „Reizbestrahlung" der Ovarien zu erklären ist, habe ich an anderer Stelle ausführlich dargestellt (Röntgenbehandlung der gutartigen Genitalerkrankungen, Keim u. Nemnich, Frankfurt 1924).

Wollte man den Ausdruck „Reizbestrahlung" ausmerzen – meines Erachtens liegt dazu kein Grund vor –, so könnte man sagen: „Protoplasmaaktivirung durch Röntgenbestrahlung" (s. auch Martius).

Zum Schluß möchte ich nochmals betonen: ich kenne keine direkt erregende Dosis für die Karzinomzellen; falls es aber doch eine Aktivierung im Sinne der Protoplasmaaktivierung gibt, kann sie nur den Erfolg des beschleunigten Stoffwechsels — des beschleunigten Aufbaues und Zerfalles (!) — haben, so daß als „Erfolg" doch mehr die Regression als die Progression auftritt. Eine erregende Wirkung auf langsam wachsende Zellen durch Protoplasmaaktivierung halte ich zwar für möglich, kann mir aber nicht das Material denken, welches bei homogener Zusammensetzung eines Gewebes und homogener Durchstrahlung die (aktivierenden) Zerfallsprodukte liefern sollte. Liegen Zellkomplexe von großer Sensibilitätsdifferenz nebeneinander, so kann der sensiblere zerfallen und den resistenteren „erregen".

c) Ungenügende Dosierung.

„Ungenügende Dosierung" ist der Entschuldigungsgrund für jeden Fehlschlag in der Karzinomtherapie. „Ungenügend" kann die technische Zentrierung oder Applikation der Strahlen sein; „ungenügend" wird die Dosis bezeichnet, welche nicht 90—110% der H.E.D. beträgt; „ungenügend" ist die Bestrahlung, welche den Zeitfaktor (Pausen) unberücksichtigt läßt — „ungenügend" war die Bestrahlung, welche erfolglos blieb.

Auf die „ungenügende" Bestrahlung folgte ein Scheinerfolg, eine Verkleinerung des Karzinoms, eine Schrumpfung, eine „primäre Heilung"; kurze Zeit später aber war das alte Leiden wieder da.

„Ungenügend" sagte der Laie, „ungenügend" kritisierte sich selbst in schärfster Form der Röntgenologe.

„Ungenügend" war das Schlagwort, das unser Unwissen verdeckte. Fast nannte man auch „ungenügend" die Bestrahlung, welche kein Mensch ertrug, weil sie zu groß war. Selbst als die neusete Zeit das Wort prägte: „zuviel ist vielleicht schlechter als zu wenig" (Opitz, Werner), wandte man sich vom Sektionstisch ab mit dem Gedanken: Karzinom ist immer noch da, wo finde ich nur noch ein Hautfeld, um den Feind von einer neuen Seite aus anzupacken!

Schwer belastet schreitet die Strahlentherapie des Krebses einher mit dem Brandmal an der Stirne, daß sie ihre Patienten entlasse, ehe das wuchernde Krebsgewebe ganz zugrundegerichtet sei; daß sie sich freiwillig des Machtmittels beraubt, das in der Narkose und der einmaligen Operation liegt; daß sie das Wiederkommen der Kranken von tausend Faktoren abhängig mache, von denen die schlimmsten die Trägheit und die Unkenntnis sind!

„Von den fertigbestrahlten Frauen leben" — sagt die Statistik, und mit Grauen sehen wir, um wieviel besser es um das Schicksal dieser Wenigen bestellt ist, als um dasjenige derer, die nicht wiederkehrten, wie es „planmäßig befohlen" war. Auf der einen Seite der Friedhof der „ungenügend Bestrahlten", auf der anderen Seite das Elysium der „Gehorsamen"!

Liegt hier nicht der Beweis auf der Hand, daß die „kleinen Dosen" schaden und nur die „großen Dosen" nützen? Müssen wir vielleicht doch wieder das Problem der Reizwirkung neu aufrollen? Keinesfalls! Auch hier lügt die Statistik, wie sie es so oft tut. Es kommen wieder die Frauen, die wir in erträglichen Grenzen bestrahlt haben; es bleibt fort das Heer derjenigen, bei denen wir die „persönliche Grenze" aus Unkenntnis oder aus Dosenfanatismus unbeachtet ließen; es bleiben auch alle fort, bei denen wir das

Karzinom nicht an seiner verwundbaren Stelle trafen; und es bleiben alle fort, deren Glaube, Interesse, Energie oder Geld geschwunden waren. Kein Zweifel: die Verzettelung in der Strahlentherapie kämpft einen Kampf mit menschlicher, allzu menschlicher Schwäche; aber sie kämpft ihn **nicht** wegen der „ungenügenden Dosis"!

Zum Schlusse möchte ich noch mit zwei Worten auf die erwähnte neue Theorie von Schinz, Régoud usw. eingehen. Dort heißt es (nach Holzknecht):

1. durch keine Dosis wurde eine Wachstumsförderung erregt;

2. mit zunehmender Dosis stieg die Wachstumsschädigung an, aber nicht unbegrenzt;

3. die höchsten einmaligen Dosen brachten abnehmende Wirkung;

4. durch einmalige Bestrahlung konnte ein Impfkarzinom niemals geheilt werden;

5. zwei von drei Tumoren schwanden vollständig und dauernd, wenn 6mal mit 4 Tagen Intervall eine entsprechend verminderte Dosis gegeben wurde.

Schinz schließt daraus, daß die Röntgenempfindlichkeit der Karzinomzellen nicht in allen Phasen ihrer Entwicklung gleich groß ist, sondern zur Zeit der Kernteilung ein Maximum aufweist (Holthusen). Erst wenn Mitosen getroffen werden, kann Heilung eintreten; die Höhe der Dosis spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Diese neue Theorie entspricht ganz dem Bergonnièschen Gesetze; sie steht im Widerspruch (?) mit der Reizspeicherung in ruhenden Zellen (Jüngling). Es wird sich in der Zukunft das Strahlenproblem vielleicht um die beiden Pole drehen:

1. Bestrahlung zur Zeit der Wachstumsverlangsamung mit der Absicht der Reizspeicherung;

2. Bestrahlung zur Zeit der Wachstumsbeschleunigung mit der Absicht der sofortigen Degenerativwirkung.

Weiter auf die Fragen einzugehen verbietet der Raum; über eigene experimentelle Untersuchungen hierüber zu berichten, behalte ich mir vor.

3. Die Röntgensensibilität und Röntgensensibilisierung.

Über die Strahlenempfindlichkeit der Kollumkarzinome gegen Röntgenstrahlen ist etwas Geneues bisher nicht bekannt. Man findet zwar da und dort die Angabe, daß die Radiosensibilität innerhalb enger Grenzen schwanke, aber in exakter Weise ist die Frage bisher noch nicht angegangen worden. Der Hauptgrund hierfür liegt wahrscheinlich in der ungenügenden Möglichkeit, die Strahlenintensität genau zu messen, und in der Scheu, sich auch während des zu erwartenden Heilungsprozesses durch mikroskopische Untersuchungen von der Rückbildung des Krebses im bestrahlten Gebiete zu überzeugen. Probeexzisionen, nur nach 6—7 Wochen entnommen, besitzen meines Erachtens einen geringen Wert.

Beim Radium (s. S. 557) haben wir bekanntlich festgestellt, daß die Sensibilität dem histologischen Reifegrad entsprechend schwankt, und für

mittelreife Karzinome	ca.	$^1/_2$—$1^1/_2$	Erythemdosen
reife	„	1—$2^1/_4$	„
unreife	„	$^1/_3$—$4^2/_3$	„

beträgt. Ähnliche Werte bestehen für die Röntgenstrahlen nicht, auch muß betont werden, daß wohl noch niemand — auch wir nicht — die Heilung eines Kollumkarzinoms mit einer Dosis von 60% der H.E.D. erlebt hat, selbst wenn dieselbe in Teilbestrahlun-

gen verabreicht wurde. Ich halte die notwendige Dosis für das Karzinom bei Verwendung von Röntgenstrahlen für viel höher liegend und setze sie etwa der Hautdosis entsprechend an, d. h. das Karzinom pflegt primär zu schwinden, wenn bei Mehr- und Mittel- und Kleinfelderbestrahlung ca. 100% der Hautdosis auf die Portio verabreicht werden (bis 660 R). Ich zweifle nicht, daß es Karzinome gibt, welche bei geringeren Dosen reagieren und zurückgehen (verschwinden?), aber bei der üblichen Bestrahlungstechnik muß man mit einer nahezu vollen Hautdosis am Tumor rechnen (s. Abschnitt D und Nachtrag auf S. 568).

Holzknecht hat bekanntlich, als er die festliegenden Dosen in der Medizin beseitigen wollte, die sog. Dosisstufe eingeführt. Man versteht darunter die Grenzwertbestimmung der biologischen Wirkungsbreite. So mag es Ovarien geben, welche schon auf 10—15% der H.E.D. ihre Funktion für immer einstellen. 10—15% wäre also die untere Grenze der Kastrationsdosis. Anderseits kann die Applikation von 34% der H.E.D. ohne Dauererfolg in bezug auf die regelmäßige Wiederkehr der Menstruation sein; die obere Grenze der Kastrationsdosis wäre also etwa bei 38—40% der Erythemdosis zu suchen (240 R). Legt jedes Institut sich eine Liste seiner Fälle an, so besteht die Möglichkeit, die „mittleren" Dosen (Maximum der Häufigkeit) und die oberen und unteren Grenzwerte zu bestimmen. Es ist sicher sehr wertvoll, wenn man die ganzen Dosisstufen für ein Organ kennt; ob es aber in der Praxis sich lohnt, danach zu arbeiten, ist eine andere Frage; und dann vor allem: sobald eine vitale Indikation an uns herantritt, müssen wir auch nach Holzknecht zum Dosenoptimum greifen, welches in der Regel sehr hoch gelegen ist (der „praktischen" Dosis entspricht). Und beim Karzinom besteht immer die vitale Indikation, was es wohl rechtfertigt, de facto an der oberen Grenze der Dosisstufe zu arbeiten.

Von welchen Faktoren die Sensibilität der Karzinome letzten Endes abhängt, wissen wir nicht. Es ist möglich, daß es die Mitosenbildung ist, welche einen besonderen Zustand der Strahlenempfindlichkeit schafft; Steigerung des Stoffwechsels scheint dabei keine Rolle zu spielen (Holthusen); es ist auch möglich, daß es, wie oben angedeutet, Eigenstrahler in den Zellen sind, welche die Wirkung an bestimmten Stellen steigern. Auch hiermit würde sich die Ungleichmäßigkeit des biologischen Erfolges erklären lassen, denn es ist seit langem bekannt, daß niemals die ganze Masse des Karzinoms trotz Homogenbestrahlung in der gleichen Weise leidet. Die Theorie der Eigenstrahler würde nun aber vor allem den Erfolg der Sensibilisierungsversuche mit hochgewichtigen Metallsalzen erklären, welche man zur Verstärkung der Strahlenwirkung in den Tumor einspritzt oder in seiner Umgebung verteilt. Bekanntlich nimmt Wintz seit einigen Jahren die Verkupferung der Kollumkarzinome vor (s. S. 631). Er läßt das Cu auf galvanischem Wege durch den Tumor transportieren.

Wie Halberstädter und Simons ausgeführt haben, kann man die Steigerung der Wirkung der Röntgenstrahlen in der verschiedensten Weise zu erreichen versuchen: durch Steigerung der Strahlenabsorption und durch Änderung der Reaktionsbereitschaft im Gewebe. Für die letztere kommen in Frage die zu beeinflussenden Zellen selbst und die ernährenden Gefäße. Ob es Faktoren gibt, welche an den Zellen selbst wirken, lassen die Autoren dahingestellt, ihnen selbst gelang es durch freies Jod, Wärmeapplikation, Ammoniakeinreibung und Bestrahlung mit ultraviolettem Licht die Wirkung der Röntgenstrahlen zu steigern. Es war dabei gleichgültig, ob die Anwendung der genannten Mittel vor oder nach der Bestrahlung erfolgte, woraus die Autoren schließen, daß nicht Eigenstrahlenwirkung mitspielt, sondern nur die Entzündungserregung. War dieselbe schon abgeklungen (bei Ammoniakeinreibung ist sie sehr flüchtig), so blieb die Wirkungssteigerung aus.

In gleicher Weise ist die Sensibilisierung des Gewebes durch echte Entzündung (Schwarz) und Diathermie zu erklären (Müller, Bering, Hans Meyer).

Über Eigenstrahlung berichten Ellinger-Rapp und Sidamgrotzky-Pivard. Das 10%ige Thoriumnitrat erwies sich als relativ ungiftig und infolge seines hohen Atomgewichtes (Ordnungszahl!) als ein sehr kräftiger Eigenstrahler. Dosen bis etwa $^1/_3$ der sonst üblichen genügten, um schwere Nekrosen herbeizuführen. Therapeutisch sind die Erfolge noch nicht eindeutig.

Die Wachstumsanregung (evtl. durch Röntgenstrahlen!) ist als Sensibilisierungsmittel bisher noch nicht bekannt. Ob die Hypophysenbestrahlung in diesem Sinne wirkt, ist vorerst nur eine Theorie.

Über Desensibilisierung — und Wachstumshemmung! —, welche eine große Bedeutung haben müßten, wenn damit eine Reizspeicherung verbunden wäre, ist wenigstens aus der neueren Zeit nichts bekannt. Kompression (Schwarz), Anämisierung durch Adrenalin (Reicher-Lenz) und Hochfrequenz (Müller) gehören nahezu der Geschichte an; ihr Angriffspunkt war offenbar das Gefäßsystem, eine Vermutung, die doch vielleicht wert ist, festgehalten zu werden.

4. Maßeinheiten.

Die Röntgenstrahlen bedürfen bei ihrer praktischen Anwendung der Charakterisierung nach zwei Richtungen hin; es müssen Intensität und Härte, oder wie man wohl auch sagt: Quantität und Qualität der Strahlen bestimmt werden. Das Nebeneinander dieser beiden Eigenschaften kommt dadurch zustande, daß jede Röntgenröhre Strahlen verschiedener Wellenlänge liefert, so daß im Strahlenbündel neben harten stets auch weiche Röntgenstrahlen enthalten sind. Würde es gelingen, eine Röhre zu konstruieren, aus der Strahlen nur einer Wellenlänge austreten, so würde man bloß die Intensität zu bestimmen brauchen. Man spricht in diesen Fällen von einer monochromatischen Strahlung.

In der Therapie des Kollumkarzinoms kommen Strahlen zur Anwendung, deren Wellenlänge etwa 0,8—0,3 AE. beträgt, also sehr harte Strahlen. Man charakterisiert die Härte der Strahlung in der Praxis ausschließlich nach der Filtermethode, d. h. durch Angabe der sog. Halbwertschicht (Küstner), und versteht darunter diejenige Filterdicke von Aluminium oder Kupfer, welche die Intensität der Strahlung unter sonst gleichen Bedingungen auf die Hälfte herabsetzt. Küstner hat darauf hingewiesen, daß man besser die Halbwertschicht in Kupfer als in Aluminium bestimmt, weil im Aluminium die Streustrahlung wegen der Dicke der notwendigen Schicht eine zu große Rolle spielen kann. Die Halbwertschicht der bei der Therapie des Kollumkarzinoms zur Anwendung kommenden Strahlen beträgt etwa 14—16 mm Aluminium und 0,5 mm Kupfer. Zahlreiche Tabellen und Kurven der Literatur geben Aufschluß über derartige Messungen. Man erkennt dabei zugleich, daß die Abnahme der Intensität anfänglich sehr rasch erfolgt, dann kleiner wird, um zuletzt für jeden Bruchteil der zugelegten Schicht gleichzubleiben. Man verfügt im Augenblick, wo die Absorption im nächsten Millimeterfilter die gleiche ist wie im vorhergehenden, über eine sog. homogene Strahlung. Es gelingt also, durch die Filterung eine qualitative Homogenität der Röntgenstrahlen zu erzielen.

Dessauer bestimmt die Qualität der Röntgenstrahlen durch die prozentuale Abschwächung in Wasser pro Zentimeter Schichtdicke. Eine Strahlung, welche pro Zentimeter Wasser 11—13 % abnimmt, ist sehr hart und zur Bestrahlung des Kollumkarzinoms wohl geeignet. Die Kurve, welche Dessauer seinerzeit angegeben hat, um die prozentuale Abschwächung in Wasser, die Absportion in Aluminium und den Ab-

sorptionskoeffizienten miteinander zu vergleichen, sei hier angegeben (Abb. 21). Die Messung geschieht in der Weise, daß man die Intensitäten vergleicht, welche nach dem Durchtritt der Strahlen durch 1 und dann durch 2 cm Aluminiumfilter übrigbleibt.

Ist die Strahlung völlig homogen, so muß das Verhältnis der beiden Werte sich der Zahl 1 nähern.

Beispiel: Am Intensivreformapparat messe ich bei bestimmtem Betriebsbedingungen und 30 cm Abstand vom Fokus der Röhre eine Intensität von 10, nach Vorschaltung von 1 cm Aluminium sinkt die Intensität auf 6 herab (Verhältnis 10 : 6 = 1,7). Die Vorschaltung von wiederum 1 cm Aluminium vermindert die Intensität auf 4 (Verhältnis 6 : 4 = 1,5). Der Vergleich ergibt, daß erstmalig die Intensität um 40% sinkt, bei der 2. Messung um 31—33%. Der Vergleich beider ergibt einen Bruch von 17 : 15 = 1,13. Würde man noch ein drittes Mal 1 cm Aluminium vorschalten, würde die Intensität auf vielleicht 2,8 absinken = 30%. Das Verhältnis beträgt dann 4 : 2,8 = 1,43. Das Verhältnis der vorgehenden Strahlung zur jetzigen ist nunmehr 150 : 143 = 1,05, d. h. es nähert sich immer mehr der Zahl 1.

Die Härte der Strahlung ist durch die Halbwertschicht bzw. die prozentuale Abschwächung in Wasser genügend charakterisiert. Die Intensität der Strahlung ist wesentlich schwerer zu bestimmen.

Für die Messung der Intensität der Strahlung stehen uns physikalische und biologische Methoden zur Verfügung. Es kann hier nicht auf alle Einzelheiten der Verfahren und ihre Kritisierung durch Berufene und Unberufene eingegangen werden, es muß genügen, wenn wir das Urteil bekannter Autoren auf diesem Gebiete hören.

Holthusen schreibt: „Es bestehen keine Zweifel, daß in der praktischen Dosimetrie heute die Ionisationsmethoden das Feld behaupten." Auch Küstner, der nebeneinander die Ionisation, die Selenzellenmessung (Fürstenau), die Photographie und Fluoreszensmessung bespricht, läßt nur die erstgenannte Methode zu. Trotz aller Angriffe, die auf das Iontoquantimeter an seiner verschiedensten Ausgestaltung gemacht worden sind, hat es sich fast überall eingebürgert und — man kann wohl sagen — auch bewährt. Was man den früheren Methoden der Intensitätsbestimmung zum Vorwurf machte, war ihre Unzuverlässigkeit, wenn es galt, Strahlen verschiedener Härte zu messen. Es hat das seinen Grund darin, daß die genannten Meßinstrumente die absorbierte Strahlung messen, daß aber die Absorption der Strahlung in den verschiedensten Substanzen großen Schwankungen unterworfen ist, welche von der Natur der Substanz (der Ordnungszahl der Atome) abhängt. Friedrich glaubte seinerzeit den Nachweis erbringen zu können, daß die Absorption der Strahlung in Luft konstant bleibe bzw. nur in Abhängigkeit stehe von den gebildeten sekundären β-Strahlen. Auf diese Weise entstand das „luftelektrische" Iontoquantimeter. Im Augenblick ist auch diese Feststellung Friedrichs schwankend geworden, insofern Grebe und Martius glauben nachgewiesen zu haben, daß harte Strahlen einen stärkeren Absorptionsverlauf erfahren (also eine spezifische Absorption besitzen) als weiche Strahlen. Selbstverständlich können über die Bedeutung dieser Beobachtung nur die Physiker entscheiden, doch schon heute muß gesagt werden, daß die Unterschiede im Bereich der praktisch verwendeten Strahlung nicht allzu erheblich sein können, da man schon bisher die Ergebnisse der Iontoquantimetermessung mit größtem Erfolg auf das biologische Gebiet übertragen hat. Es soll weiter unten von diesem Punkte noch einmal die Rede sein.

Wenn wir für die Intensitätsmessung im Rahmen dieser Betrachtungen auch nur die Ionisationsmethode berücksichtigen, so ist damit nicht gesagt, daß sie uns ein einheitliches Maß für die Röntgenstrahlenintensität in die Hand gibt. Der Ablauf der Ionisationsinstrumente hängt von so vielen physikalischen Bedingungen ab, daß er nicht leicht normalisiert werden kann. Es hatte deshalb schon

Friedrich vorgeschlagen, nach einem absoluten Maß zu rechnen und zu dosieren und die elektrostatische Einheit als Grundlage desselben anzunehmen. Sie wird mit einem deutschen e bezeichnet und stellt eine Strommenge dar, welche einen Leiter von der Kapazität 1 auf die Einheit des Potentials (300 Volt) auflädt. Das Maß e wird bisher nur im Institut von Opitz und Friedrich angewendet und hat sich noch nicht weiter eingebürgert. In neuerer Zeit sind dagegen auf Anregung von H. Küstner Bestrebungen im Gange, ein Standardinstrument zu schaffen, mit dessen Hilfe andere Intensitätsinstrumente geeicht werden, welche nun ihrerseits wiederum dazu dienen, eine Einheitsdosis allgemein zugänglich zu machen. Die Einheit der Röntgenintensität soll als „Röntgen" bezeichnet werden. Es steht zu wünschen, daß diese Bemühungen, an denen außer Küster vor allem Holthusen und Behnken beteiligt sind, von Erfolg gekrönt sein werden (siehe Nachtrag auf S. 568).

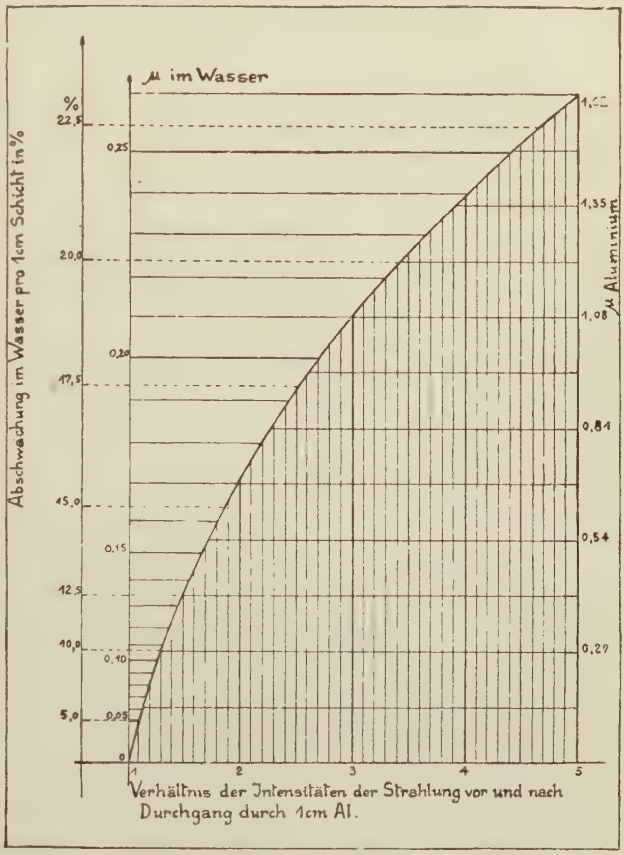


Abb. 21. Härtekurve nach Dessauer.

Biologisch läßt sich die Strahlenintensität in der verschiedensten Weise bestimmen. Selbstverständlich haften der biologischen Messung außerordentliche Mängel an, schon deshalb, weil nur eine bestimmte Reizgröße von einem bestimmten biologischen Erfolg begleitet ist und jede geringere Dosierung im gleichen biologischen Maßstab nicht oder nur ungenau gemessen werden kann. Zwar hilft man sich durch die Kombination der biologischen Messung mit der physikalischen, indem man den Gegenwert des biologischen Erfolges physikalisch mißt und alle kleineren Reizgrößen mit Hilfe der physikalischen Messung wiedergibt. Die biologische Dosis ist gewissermaßen die Einheit der kursierenden Währung, die physikalische Dosis die Scheidemünze.

Als biologische Objekte kommen heute im wesentlichen drei in Frage: die Keimlinge der Pferdebohne (Methode Jüngling), die Haut (Seitz-Wintz) und die Eier des Pferdespulwurms (Holthusen). Auf Einzelheiten will ich an dieser Stelle nicht eingehen, zumal nur die „Hautdosis" bisher als Einheit eine weitgehende Verbreitung gefunden hat. Das volle Hauterythem bezeichnet man mit Seitz-Wintz als 100 und drückt die schwächeren und größeren Intensitäten in Prozenten aus.

Jedes biologische Objekt, auch die Haut, hat einen großen Nachteil: es verändert

sich während der Bestrahlung. Innerhalb kurzer Zeiträume macht das vielleicht nichts aus; zieht sich aber die Bestrahlung in die Länge oder wird sie gar „verzettelt", d. h. durch längere Pausen unterbrochen, so „registriert" das biologische Objekt ungenau. Nur die ruhende Bohne soll, wie wir gehört haben, die Strahlenreize wie ein physikalisches Meßinstrument sammeln und addieren (Jüngling).

Die hier genannte Eigenart des biologischen Objektes bedingt es, daß die biologische Dosis nicht nur durch Energieeinheiten, sondern auch durch eine Zeitangabe charakte-

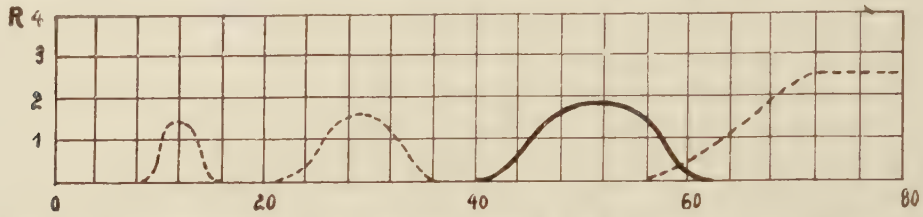


Abb. 22. Das Hauterythem. Die Reaktion verläuft in 3 Wellen . . . . Pigmentkurve. ———— Erythemkurve. Ordinate zeigt Rötungsgrade R 1—4. Abszisse zeigt die Zeit in Tagen. Nach Miescher, Strahlenther. 16.

risiert werden muß. Innerhalb enger Grenzen kann man in der Praxis davon wohl absehen; daß der Zeitfaktor aber eine außerordentliche Rolle spielt, darf man sich nie verhehlen. Auch die Verminderung des Erfolges — wir haben schon gehört, daß dies nicht immer der Fall ist — bei „Verzettelung der Dosis" gehört in dieses Kapitel.

Die Hautdosis nach Seitz-Wintz müßte also, streng genommen, so charakterisiert werden: sie entspricht einer Röntgenenergie von 37 Sektorenabläufen, verabreicht in etwa 35 Minuten.

Noch von einem weiteren Faktor hängt der biologische Erfolg ab: von der Mitbeteiligung des Gesamtorganismus. Es ist nicht gleichgültig, ob man die

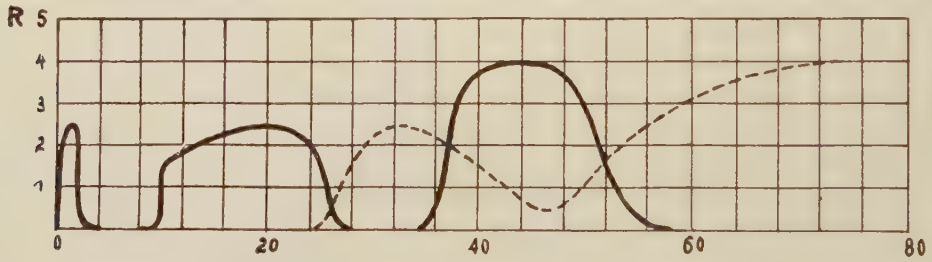


Abb. 22a. Das Hauterythem. 3 Erythemwellen.

Haut direkt bestrahlt oder ob sie — nach Durchquerung des ganzen Körpers — „von hinten her" getroffen wird. Der Organismus reagiert auf die Durchstrahlung und er vermag das biologische Tastobjekt zu beeinflussen. Krönig hat es schon vor vielen Jahren betont, daß es nicht gleichgiltig sei, ob man ein Kollumkarzinom direkt oder vom Abdomen aus bestrahle; im letzteren Falle — gleiche physikalische Dosis vorausgesetzt — sei die Wirkung erheblich abgeschwächt. Und endlich noch ein dritter Gesichtspunkt, jede biologische Reaktion erlaubt subjektive Deutungen. Ganz besonders gilt das von der Hautdosis. Hier muß von Fall zu Fall entschieden werden; „Rötung" und „Bräunung" müssen gegeneinander abgewogen werden; die Zeit des Auftretens muß genau registriert werden. Welche Schwankungen der subjektiven Auffassung!

Seitz-Wintz hatten gemeint, wenn die erste Rötung nach 8 Tagen, die Pigmentierung in der 3. oder 4. Woche auftauche, so sei ein Erythem charakterisiert, das keine allzu großen Schwankungen in der subjektiven Deutung zulasse (± 10%).

Warnekros glaubte das Erythem II besser fixierbar; Waeber plädierte für die Pigmentdosis. Opitz-Friedrich nehmen als Einheit einen leichten Entzündungszustand der Haut. Ritter, Prost, Krüger dosieren nach der Follikelschwellung usw.

Haußer und Vahle und noch überzeugender Bachem haben dargetan, daß nach Wellenlänge, Energie und Beurteilung enorme Schwankungen der „Einheitsdosis" vorkommen können (30% u. m. nach Martius sogar 400%).

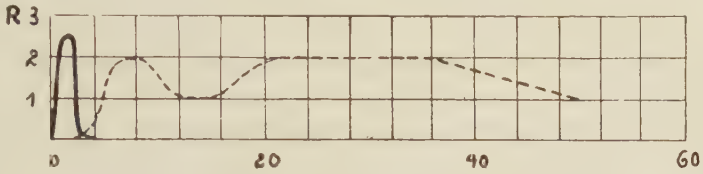


Abb. 23. Das Hauterythem. Unvollkommene Reaktion.

So kann man Miescher nur zustimmen, wenn er schreibt, „daß wir von einer einheitlichen Auffassung weit entfernt sind und daß die klinische Bezeichnung „Röntgenerythem" ein qualitativ und quantitativ außerordentlich wenig präziser Begriff ist."

Wir verdanken übrigens Mischer eine Analyse des Röntgenerythems, welche ich für so wichtig halte, daß ich hier ein kurzes Referat seiner Arbeit einschalten möchte. Mischer stellt zunächst fest, daß die sog. Latenzzeiten trotz gleicher physikalischer und Zeitdosierung ganz verschieden sind und bei gleichen Bedingungen 1—7 Wochen dauern können. Es besteht also zwischen Latenz und Dosis kein konstantes Verhältnis. Weiter fand er, daß die biologische Reaktion, welche wir als Erythem bezeichnen, in Form einer „wellenförmigen Reaktionskurve" verläuft (Abb. 22). Hatte man bisher nur zwischen Vorreaktion (Früherythem) und eigentlicher Reaktion unterschieden,

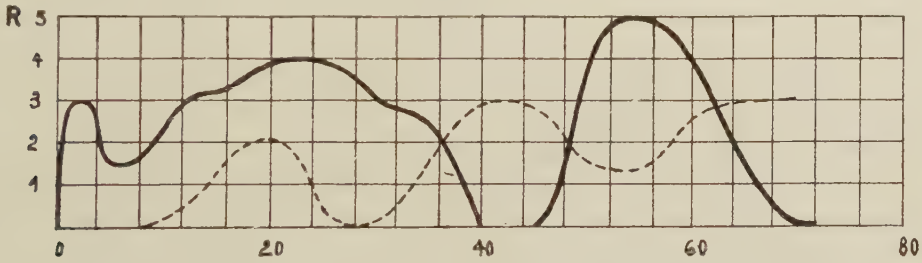


Abb. 24. Das Hauterythem. Verschmolzene erste und zweite Welle.

so stellte Mischer eine, zwei oder drei Reaktionsmaxima fest, welche durch tiefe Wellentäler oder durch leichte Reaktionsrückgänge getrennt wurden (Abb. 22a).

Die Wellen, welche durch die Kurven der Abb. 22—24 dargestellt sind, betreffen sowohl das Erythem wie die Pigmentierung. Die letztere kann man sich neben dem Erythem leicht durch Kompression der Haut mit dem Glasspatel zur Darstellung bringen. Das Phänomen als solches spiegelt vielleicht gewisse rhythmische Vorgänge im biologischen Objekt wider, es erschwert aber natürlich die praktische Verwendbarkeit der Haut als Dosismesser. Anderseits konnte festgestellt werden:

1. daß die Wellen zu ziemlich feststehenden Terminen aufzutreten pflegen unabhängig von der Dosis. Bei niederen Dosen fallen eine oder zwei Wellen aus (Abb. 23), bei höheren Dosen verschmelzen die Wellen (Abb. 24). Die Latenzzeit ändert sich dabei nur scheinbar. Es liegt

die	1.	Welle	am	1.— 4.	Tage
„	2.	„	„	8.—22.	„
„	3.	„	„	34.—51.	„

Das Maximum der Wirkung fällt in der Regel in die dritte Welle. Manchmal konnte noch eine 4. Welle beobachtet werden.

2. daß ein deutlicher Einfluß von Haut- und Haarfarbe nicht bestand.

3. daß im Bereich der höheren Reaktionsausschläge die Schwankungen der Reaktionsgröße (nach einer Rötungsskala) nur $\pm$ 15—20% gegen $\pm$ 40—50% bei schwächeren Reaktionsausschlägen betrug.

Endlich konnte Mischer noch die sehr bemerkenswerte Tatsache feststellen, daß die Hautreaktion weitgehend mit seinem Iontoquantimeter parallel ging. Jedenfalls zeigte sich eine weit bessere Übereinstimmung als mit der Sabouraudtabelle. Wenn dies Ergebnis natürlich zunächst auch nur ein besonderes Interesse für das eigene Instrument Mischers hat, so läßt es anderseits hoffen und erwarten, daß wir in dem Standardinstrument auf Iontoquantimetrischer Basis eine Maßeinheit bekommen, welche mit den biologischen Reaktionen mehr oder minder identifiziert werden kann.

So kommen wir also schließlich doch dahin, nach wie vor eine Dosiseinheit, und zwar am liebsten eine **physikalische** zu fordern. Das **Dosieren selbst — nach Qualität, Quantität und Zeit — muß aber völlig dem Arzt überlassen bleiben.**

Die **physikalische** Dosis kennt eine ganze Reihe spezieller Begriffe, welche in besonders schöner und klarer Weise bei Voltz besprochen werden, von denen hier nur eine kurze Übersicht und Definition gegeben werden soll.

Man unterscheidet:

1. eine Oberflächendosis,
2. eine Tiefendosis und bildet aus beiden das Verhältnis,
3. den Dosenquotienten.

Als Oberflächendosis bezeichnet man gewöhnlich die Größe der Strahlenabsorption in der Haut, als Tiefendosis diejenige, welche in 10 cm Gewebstiefe noch vorhanden ist. Selbstverständlich ist die Annahme von 10 cm rein willkürlich; sie entspricht aber im Mittel ungefähr dem halben dorsoposterioren Durchmesser des menschlichen Körpers bei der Genitalbestrahlung. Bezeichnet man die Oberflächendosis mit D_1, die Tiefendosis mit D_2, so ist der Dosenquotient (Q)

$$Q = \frac{D_2}{D_1}.$$

Es versteht sich von selbst, daß der Dosenquotient in Abhängigkeit steht von der Härte der Strahlen, der Feldgröße und dem Fokusoberflächenabstand und dem Absorptionsvermögen der durchstrahlten Schicht; es soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

Weitere Größen in der Dosenlehre sind

4. die effektive Dosis und
5. die Nutzdosis.

Als effektive Dosis bezeichnet man das Maximum der Tiefendosis, welches bei einer bestimmten Strahlung und einem bestimmten Fokusoberflächenabstand erreichbar ist. Sie wird in Prozenten der Oberflächendosis angegeben. Oft sagt man statt dessen auch „prozentuale Tiefendosis". Irgendeine Einengung des Strahlenbündels durch Felderbegrenzung findet nicht statt.

Als Nutzdosis bezeichnet man die in Prozenten zur Oberflächendosis gedrückte Tiefendosis bei in jeder Hinsicht scharf charakterisierter Bestrahlung, d. h. Härte, Abstand und Feldgröße sind genau angegeben. Die Nutzdosis ist derjenige Wert, mit dem wir am meisten rechnen. Wir bestimmen im Phantom, beim Patienten oder an der Leiche für unsere besonderen Methoden die „Nutzdosis" und schaffen uns dadurch ein Bild von der Art der Bestrahlung.

Außer diesen mehr physikalischen Dosisbegriffen gibt es noch einen, dem biologische Bedeutung zukommt, die sog. Raumdosis. Man versteht darunter die Gesamtheit der in einem Strahlenkegel absorbierten Strahlen, soweit er in einem lebenden Organismus wirksam werden kann. Die Raumdosis setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

1. Aus der Absorption im Strahlenkegel selbst,
2. Aus der Absorption im Rand- und Nachbargebiet.

Zu messen ist die Raumdosis sehr schwer, weil die „Seitenstrahlung" unter Umständen einen erheblichen Betrag erreichen kann. Man charakterisiert im allgemeinen die Raum-

dosis durch das Volum des im Organismus liegenden Strahlenkegels und schätzt die Absorptionsgröße nach der Härte der Strahlen ab. Es ist selbstverständlich, daß diese geometrische Beurteilung der Raumdosis ein ganz unexakter Wert ist, aber wir haben vorläufig nichts Besseres an ihre Stelle zu setzen. Zu- und Abnahme der Raumdosis wird durch Konstruktion des jeweiligen Strahlenkegels im Organismus bestimmt.

Als a bezeichnet Wintz diejenige Raumdosis, welche einem Strahlenkegel von 6 × 8 cm Feldgröße, 23 Fokushautabstand und 20 cm Dicke der durchstrahlten Schicht entspricht. Die 5fache Raumdosis = 5a wird anstandslos vom Organismus vertragen; die 7fache Raumdosis stellt den oberen Grenzwert dar (a in Raummaß ausgedrückt ca. 2000—2100 ccm = $2-2^1/_{10}$ Liter).

Die „Erträglichkeit" wird nach dem Verhalten des Blutbildes bestimmt (Bock).

5. Intensitätsverteilung und Dosierungstafeln.

Der erste, welcher die Quantität der Strahlung in der Tiefe des menschlichen Körpers zu bestimmen versuchte, war Perthes. Seitdem ist eine fast übermenschliche Arbeitsleistung vollbracht worden, um das quantitativ-physikalische Problem in der Strahlentherapie zu lösen. Am Ende sind wir deshalb doch nicht, aber wir sind vielleicht weiter als wir denken. Bisher standen wir vielleicht allzusehr unter dem beängstigenden Eindruck, daß die Karzinomdosis — diese schien gewissermaßen immer der Probierstein für die Echtheit unserer Werte — allzu eng begrenzt sei, daß schon eine ganz geringe Unter- oder Überdosierung die Aussicht auf einen günstigen Erfolg hinfällig machen würde. Ganz so ängstlich brauchen wir heute nicht mehr zu sein. Das Schwergewicht unserer therapeutischen Bestrebungen liegt beim biologischen Problem der Dosierung und heißt vielleicht in zwei Schlagworte gefaßt: **Raumdosis** und **Zeit.** In diesem Sinne sind Holzknechts Forderungen von der Dosierung aufzufassen: „prinzipiell richtig, nicht übermäßig exakt, möglichst einfach" und in diesem Sinne wollen wir auch die Differenzen betrachten, welche über den absoluten Wert der physikalischen Dosis noch bestehen.

Die ersten genaueren Tabellen auf Grund genauer Messungen stammen meines Wissens von Friedrich-Krönig. Sie sind für eine bestimmt charakterisierte Strahlung aufgestellt (Filterung 0,3 mm Al bis 1,0 Cu) und waren nicht als Hilfsmittel für die Dosierung gedacht.

Später haben Seitz-Wintz, Baumann (von Reiniger, Gebbert u. Schall), Voltz, Dessauer-Vierheller, Martius, Holfelder u. a. ihre Resultate publiziert. Am weitesten verbreitet sind heute wohl die Voltzschen Tafeln und die Dessauer-Vierhellerschen Kurven, welche zur Zeit in einem schweren Abwehrkampfe gegen die neueren Ergebnisse der Holfelderschen Messungen stehen.

Ich gebe auf Seite 92 eine einzige Tabelle, welche die Werte der genannten Autoren für eine bestimmte Strahlung nach der Nutzdosis berechnet enthält:

Daraus erkennt man, daß abgesehen von der „Oberflächendosis", welche in der voluminösen 1—2 cm dicken Meßkammer wirklich nicht allzu genau zu messen sein dürfte, die Werte ganz leidlich übereinstimmen, obwohl die Feldgrößen, die Filterung, Spannung und Intensität der Strahlungen noch nicht genügend gegeneinander abgewogen sind. Man erkennt aber deutlich, daß nur Schwankungen innerhalb weniger Prozent vorliegen.

Ein ganz anderes Bild aber ergibt sich, wenn man die Intensitätsverteilung betrachtet, wie sie Dessauer und z. B. Holfelder mitgeteilt haben. Wir möchten zweierlei zur Darstellung bringen:

Tabelle 20. Prozentuale Tiefendosen.

Tiefe	Friedrich 1,0 Cu 20 × 20	Baumann 0,5 Zn 15 × 15	Seitz-Wintz 0,5 Zn 6 × 8	Seitz-Wintz 15 × 15	Voltz 0,5 Zn 10 × 15	Dessauer-Vierheller 0,8 Cu 15 × 20	Holfelder
1 cm	—	91,9	84	92,7	84,8	85	100
2 „	96%	85,0	70	86,5	71,8	73	90
3 „	—	78,6	59	80,8	61,2	61	83
4 „	82%	72,2	50	75,0	53,3	52	75
5 „	—	66,4	42	69,5	43,9	45,4	67
6 „	67,5%	60,0	36	64,0	39,8	40,8	60
7 „	—	53,8	30	58,8	37,4	37,5	49
8 „	54%	47,5	26	53,2	39,9	34,5	42
9 „	—	41,2	23	47,3	30,6	32,3	37
10 „	44%	34,7	20	41,6	27,9	30,0	32

Abb. 25. Strahlenkegel nach Holfelder.

1. Die sog. Isodosenbilder der genannten Autoren (Abb. 25—29), mit besonderer Berücksichtigung der Randpartien.

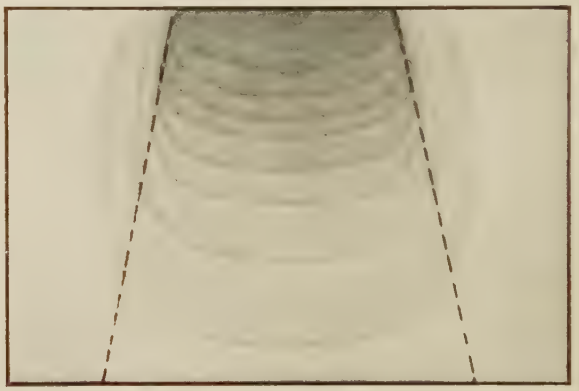


Abb. 26. Strahlenkegel nach Holfelder. Die Dosisverteilung ist durch verschiedene Tonung angegeben.

2. Die Strahlenbilder der Dosenverteilung, wie man sie durch verschiedene Abtönung herstellen kann.

Unüberbrückbar sind die Gegensätze, welche sich auf Grund dieser Darstellungen ergeben.

1. Das Strahlenfeld erscheint nach Holfelder auch in der Tiefe des Körpers entsprechend der Blende scharf begrenzt (Abb. 25).

2. In der Tiefe von 4—8 cm unter der Oberfläche besitzt das Strahlenbündel eine „bauchige Auftreibung", welche durch den Streustrahlenzusatz bedingt ist; in größerer Tiefe geht die Auftreibung verloren (Abb. 26).

3. Der Strahlenmantel, den das zentrale Strahlenbündel besitzt, ist schmal und von sehr geringer Intensität (Abb. 26, geringste Intensität 5%).

4. An der Hautoberfläche ist das Strahlenbündel ebenso scharf begrenzt wie in der Tiefe.

Abb. 27. Strahlenkegel nach Dessauer-Vierheller. Die Dosisverteilung durch verschiedene Tonung angegeben (10 zu 10%).

5. Die Intensitätskurven verlaufen dicht unter der Oberfläche ziemlich flach, so daß nur geringe Intensitätsunterschiede zwischen Mitte und Rand des Strahlenkegels bestehen; in größerer Tiefe ändert sich das Bild (Abb. 26).

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich recht beachtliche Folgerungen für die

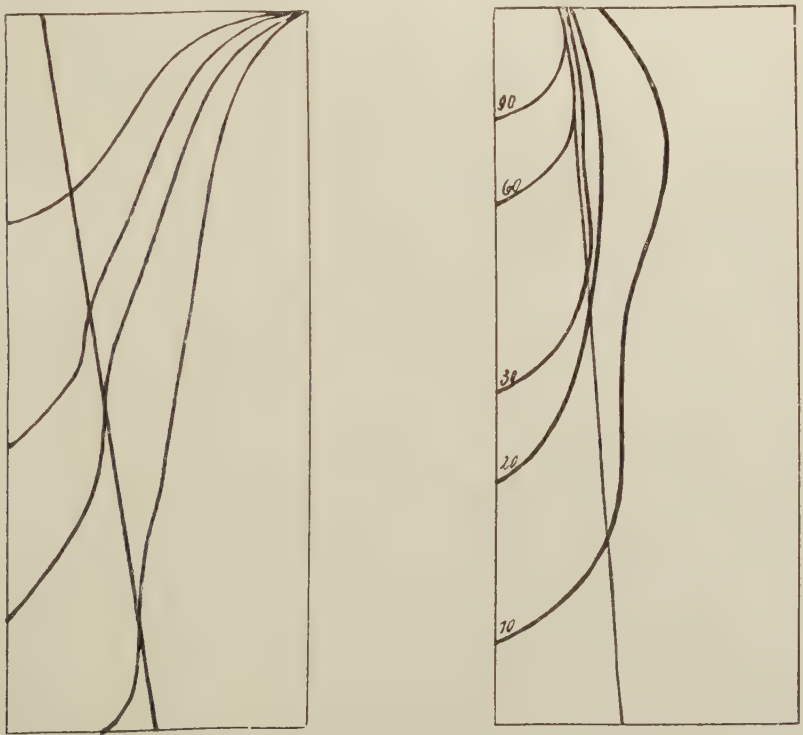


Abb. 28. Randpartien des Dessauerschen (links) und des Holfelderschen (rechts) Strahlenkegels.

Tiefentherapie. Holfelder weist z. B. darauf hin, daß die Methoden der „Überschichtung" des Hautfeldes, mit der Absicht, den Tumor in das Gebiet der „planen Isodosen" zu verlegen (s. die Kurven von Dessauer), der inneren Berechtigung entbehren, weil die Isodosen in größerer Tiefe nicht planiert, sondern eher noch steiler werden usw.

Zum Schluß sei in diesem Zusammenhange noch auf eine Arbeit von Caesar aus der medizinischen Klinik in Freiburg hingewiesen, der außerhalb des Strahlenkegels noch Intensitäten fand, welche er nicht glaubt vernachlässigen zu können (Abb. 29). Sie nehmen in ihrer Größe ab, wenn die Feldabgrenzung nicht durch eine zwischen Fokus und Haut angebrachte Blende, sondern durch Abdeckung auf der Haut erfolgt, sie nehmen zu, wenn die Abblendung der Röhre durch einen umschließenden Bleiglasstopf nicht ganz sorgfältig und genügend vorgenommen ist. Auf der Kathoden-

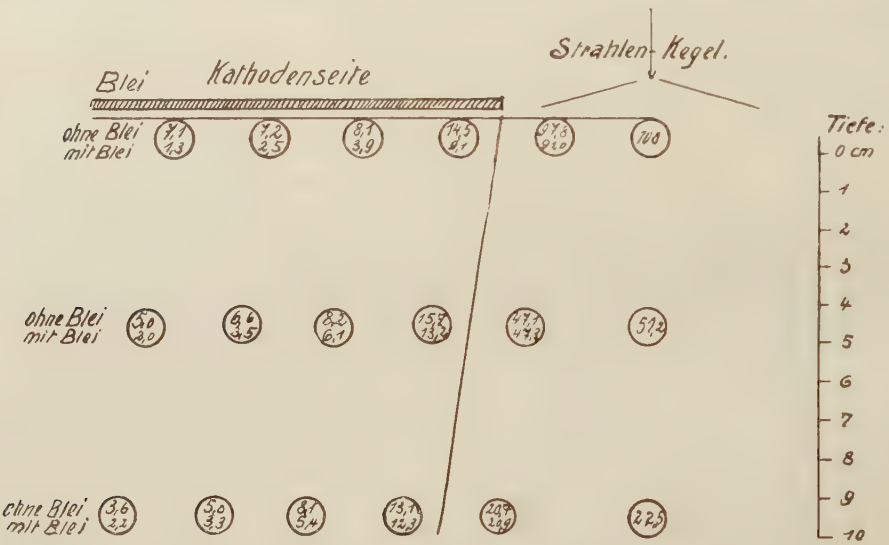


Abb. 29. Dosenverteilung außerhalb des Strahlenkegels nach Caesar.

seite waren die Intensitäten stets größer als auf der Anodenseite. Bei kleiner Feldgröße glaubt Caesar, daß die absorbierte Energie außerhalb des Strahlenkegels diejenige im Zentralstrahl erreichen oder gar übertreffen könne.

Man erkennt: die Frage der Energieverteilung im Organismus steckt noch voller ungelöster und wichtiger Probleme.

Zuletzt noch ein Wort zur Praxis der Dosierung. Das Kollumkarzinom umfaßt ein mehr oder minder eng umgrenztes Gebiet, das zum Teil sogar der direkten Beobachtung und Betastung zugängig ist. Beginnende Karzinome sind ganz auf die Portio oder das Collum uteri beschränkt; weiter fortgeschrittene Karzinome gehen nach oben auf das Corpus uteri, nach unten auf die Scheide, nach der Seite auf die Parametrien, nach vorn und hinten auf die Blasen- bzw. Rektumwand über. Außerdem können Fernmetastasen in den Drüsen des kleinen Beckens — den iliakalen und hypogastrischen Lymphknoten — sowie in den Inguinaldrüsen bestehen. Oft schreitet das Karzinom kontinuierlich fort, oft geht es sprunghaft, unter Freilassung größerer Bindegewebsabschnitte, weiter. Manchmal bahnt es sich selbst den Weg in die Umgebung, manchmal sorgt eine Entzündung für die Propagation ins Bindegewebe

und täuscht dem Untersucher eine größere Ausbreitung vor, als in Wirklichkeit besteht.

Die Döderleinsche Gruppeneinteilung hat diesem Charakter des Kollumkarzinoms gegenüber keine besondere Bedeutung, wenn wir auf alle Fälle zur Bestrahlung entschlossen sind. Es ist nicht einmal ganz sicher, ob sie als solche die Prognose der Fälle bessert oder trübt. Ausschlaggebend scheint dagegen die Infektion der Karzinommassen zu sein, welche bei allen ulzerierenden Prozessen nie fehlt, aber natürlich ganz verschiedene Grade aufweisen kann.

Es versteht sich von selbst, daß die Therapie des Kollumkarzinoms stets das gesamte Ausbreitungsgebiet - vielleicht mit Ausnahme der Inguinaldrüsen, falls diese nicht nachweislich erkrankt sind — berücksichtigen muß. Das ganze kleine Becken muß also mit Strahlen — wenn auch vielleicht nicht unbedingt homogen (s. S. 626) durchsetzt werden.

Über die Maße des kleinen Beckens wissen wir aus geburtshilflichen Beobachtungen gut Bescheid; die Knochenvorsprünge des großen Beckens erlauben uns außerdem, die individuellen Schwankungen der räumlichen Ausdehnung rasch zu bestimmen.

Als erstes werden also schematische Längs- und Querschnitte des Beckens mit Eintragung der natürlichen Maße angelegt.

In diese Schnitte werden der Primärtumor bzw. die Scheide, die Portio und das Corpus uteri sowie die Blase und das Rektum eingezeichnet. **Nunmehr** legt man die Strahlenkegel — in Form von durchsichtigen Schablonen oder nach freier Handskizze — auf und macht sich eine Überschlagsrechnung über die Zahl der notwendigen Einfallsfelder, die Höhe der Dosis im Tumor bzw. an der Beckenwand und die Belastung der Haut.

Als sehr wertvolle Hilfsmittel dienen uns hierzu die Voltzschen oder andere Tabellen und vor allem der sog. Felderwähler von Holfelder. Er besteht aus einer Zelluloidschablone, welche entsprechend der Röntgenintensität abgetönt ist und nun leicht gestattet, mehrere Strahlenkegel übereinander zu kreuzen, bis eine Färbung resultiert, welche der Oberflächentönung (Hautdosis) entspricht.

Der Holfeldersche Felderwähler ist neuerdings in einer Form im Handel, der seine Anwendbarkeit sehr erleichtert und wertvoll macht. Die Skizzen der Körperschnitte (s. oben) werden auf eine Mattscheibe aufgetragen, welche von unten her durch eine Lampe erleuchtet ist. Legt man nun die Felderwähler auf die Mattscheibe, so hat man in wenigen Minuten bestimmt, wie die Felder anzuordnen sind, wieviel man braucht und welche Dosis erreicht wird. Es gelingt vor allem auch leicht, eine ganz individualisierende Bestrahlung durchzuführen, da man 2 oder 3 Felder mit Nahabstand und den Rest mit Fernabstand — oder umgekehrt — applizieren kann.

Besitzt man keinen Felderwähler, so muß man Schablonen mit eingetragenen Dosiswerten anlegen und an den Kreuzungspunkten die Addition der Energien vornehmen.

In vereinfachter Form genügt es bisweilen auch, wenn man zuvor die Strahlenkegel am Phantom genau ausgemessen hat, nur die Werte im Zentralstrahle und an den Kreuzungspunkten zu addieren. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß Blase und Mastdarm keine Dosis erhalten, welche höher als etwa 135 % der H.E.D. ist. Beträgt die Dosis mehr, muß man die Strahlenkegel anders legen oder — falls der Tumor eine genügende Dosis erhält — die Höhe der Einstrahlungsenergie herabsetzen. Die Haut wird dadurch in wertvoller Weise geschont, was besonders für weitere Bestrahlungen und für die Funktion der Haut von Wichtigkeit ist.

C. Die Apparatur.

Die Röntgenbestrahlung des Kollumkarzinoms läßt sich mit jedem hochwertigen Röntgentherapieapparat durchführen, gleichgültig, ob es sich um einen Symmetrie-, einen Intensivreform-, Neointensivreform-, Multi-Stabilivolt- oder Radio-Silex-Radio-Transverterapparat handelt. Bei der etwas anderen Auffassung, welche wir heute von dem Zeitfaktor haben, als wie noch vor 2 Jahren, besteht sogar die Möglichkeit, daß auch mit minderwertigen Apparaten ganz Leidliches geleistet werden könnte. Aber für die Röntgentherapie des Kollumkarzinoms muß vorerst unbedingt daran festgehalten werden, daß sehr leistungsfähige Apparate zur Anwendung kommen, denn eine Heilung des Kollumkarzinoms ist bisher an keiner Stelle durch keine Methode mit wirklicher Schwachbestrahlung erreicht worden. Beim Radium haben wir — s. Kapitel 3 — gelegentlich wunderbare Erfolge mit lächerlich geringen Dosen gesehen, bei der Röntgenbestrahlung ist etwas Derartiges bisher nie bekanntgeworden.

Zu einer guten Apparatur gehört auch eine gute Röhre. Wir müssen auch in dieser Beziehung unsere Forderungen hochschrauben und dürfen nicht mit wenig guter Ware zufrieden sein. Die Röhre muß sich der Apparatur anpassen und eine Röntgenenergie geben, daß man in mindestens 40—50 Minuten bei 23 cm Abstand 0,5 mm Zink- oder Kupferfilterung die Erythemdosis erreicht. Die modernsten Röhren und Apparaturen vollbringen die gleiche Leistung schon mit 6—10 Minuten, doch fragt es sich, ob es im Interesse der Betriebssicherheit und auch der biologischen Dosierung notwendig ist, zu derartig kleinen Werten zu kommen. Sehr große Vorteile entstehen natürlich, wenn man aus großem Abstand bestrahlt, weil dann auch unter diesen Bedingungen die Erythemzeiten sich in erträglichen Grenzen halten. Aus der folgenden Tabelle geht hervor, wie gewaltig die Erythemzeiten bei Vergrößerung des Abstandes anschwellen. Als „Grundzahl" gilt die Erythemzeit bei 23 cm Fokushautabstand.

Tabelle 21. Erythemzeiten.

Abstand	Grundzahl in Minuten			
	6	15	35	50
23	6	15	35	50
30	10	25,5	59,5	85,0
50	28	71	166	238
80	71	180	418	575

Es ist selbstverständlich, daß man bei einer Erythemzeit von 50 Minuten kaum auf 80 cm Abstand gehen kann, da nunmehr eine Bestrahlungszeit von nahezu 10 Stunden zur Erreichung des Erythems notwendig wäre.

Weiter auf diese rein technischen Fragen einzugehen erübrigt sich. Ich möchte dafür auf das Handbuch der gesamten medizinischen Anwendungen der Elektrizität von Boruthau-Mann-Levy-Dorn-Krause verweisen.

Was dagegen hier noch besprochen werden möchte, sind Zusatzapparate, welche man bei der Bestrahlung des Kollumkarzinoms verwendet oder verwendet hat. Es sind das

1. Bestrahlungs- und Einstellegeräte,
2. Einrichtungen, um die Leistung der Strahlen zu steigern (Strahlensammler),
3. Geräte, welche die Dosisverteilung, die Wahl der Felder usw. erleichtern: Umbaumethoden.

ad 1. Einstell- und Bestrahlungsgeräte sind zunächst die bekannten Tubusformen (Abb. 38—46) von Seitz und Wintz und die Einstellröhre nach Wintz. Feldgröße und Fokushautabstand sowie Zentrierung des Feldes sind im Tubus selber festgelegt. Die Vereinigung der Strahlen mehrerer Felder in einem Punkte (der Portio) wurde mit der Einstellröhre geprüft. Sie bestand aus einem langen Rohr, an dessen einem Ende ein Bariumplatinzyanürschirm angebracht war, an dessen anderem Ende man die Möglichkeit des Hineinschauens hatte.

Unsicher wird die Methode durch stärkere Kompression und bei Bauchlage der Frauen, weil sich die Portio erheblich verschieben kann oder die Einführung der Einstellröhre unmöglich wird.

Es sind dann von Martius, Simon, Grashey, Gleichmann und Bertram Instrumente angegeben worden, welche den Abstand der Portio von der Haut

Abb. 30. Strahlenbild der Seitz-Wintzschen Methode. An die Stelle der Portio ist eine Bleikugel eingelegt.

Abb. 30a. Mögliche Strahlenverschiebung bei der Methode Seitz-Wintz durch Kompression.

bestimmen sollten, zugleich aber dazu dienten, die Winkelstellung der Röhre bzw. des Röhrenkastens gegen den zu bestrahlenden Tumor bei seitlicher Bestrahlung festzustellen.

Die Unsicherheiten, welche sich durch Verlagerung der Patienten und Kompression ergeben, wurden damit nicht aufgehoben. Langer empfiehlt daher die Einstellung direkt durch das Chaoulsche Radioskop zu kontrollieren. Er blendet ein schmales Strahlenbündel an der Röhre aus, legt vor die Portio eine Bleikugel (umhüllt mit Gaze und Gummi) und stellt so lange ein, bis der Schatten der Kugel in der Mitte des hellen Strahlenfeldes erscheint.

Das Verfahren ist zweifellos einwandfrei. Was mir bedenklich erscheint, ist die doch mögliche asymmetrische Verschiebung der Strahlenkegel durch die Kompression und die dadurch bedingte ungleichmäßige Durchstrahlung des Beckenraumes. Normalerweise soll das Bild der Strahlenkegel symmetrisch aussehen (Abb. 30). Durch die Kompression könnte es asymmetrisch werden, wie die Abb. 30a zeigt (Bleikugel wird zur Seite gedrängt).

Ich selbst habe deshalb mit Schaarschmidt ein Gerät konstruiert, bei dem die ganze Einstellung zwangsläufig vor sich geht, bei dem der Röhrenkasten (Stativ wird

nicht mehr gebraucht) in 3 Ebenen des Raumes beweglich ist und der Zentralstrahl doch immer durch den gleichen Punkt geht. Kompression wird nicht vorgenommen (Abb. 31).

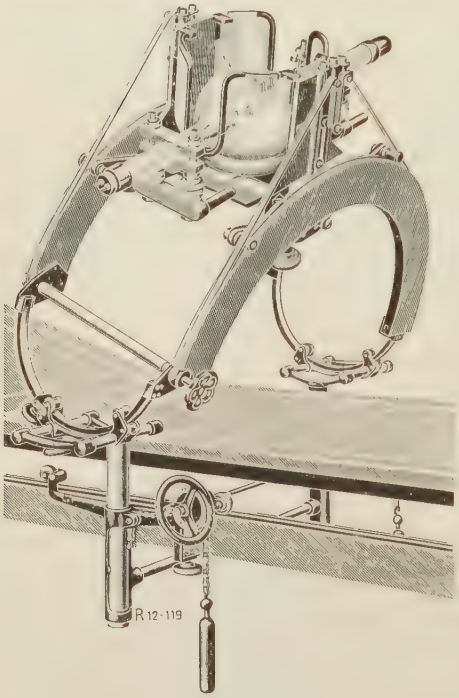


Abb. 31. Einstellgerät nach Lahm-Schaarschmidt.

Ähnliche Geräte, bei denen auch die Röhren in drei Ebenen des Raumes verschieblich sind, bei denen aber die Zentrierung auf einen Punkt nicht gewährleistet ist, haben Dessauer-Warnekros und Hirsch-Hamburg angegeben (Abb. 32).

ad 2. Verstärkungsmethoden für die Röntgenstrahlen stammen von Chaoul, Puga, Grödel und Rahm. Chaoul und Puga bringen in die Nähe des Körpers große Massen einer stark streuenden Substanz (Paraffin oder Holz) und erwarten durch die Streustrahlen eine erhebliche Zusatzdosis. Ein Schema des Chaoulschen Apparates zeigt die Abb. 33, das Prinzip der Pugaschen Streuungsrinne gibt Abb. 34 wieder. Es gelingt in der Tat die Wirkung der Röntgenstrahlen — physikalisch betrachtet — auf diese Weise zu steigern und beim Chaoulschen Strahlensammler die Bestrahlungszeiten um nahezu 40% abzukürzen. Aber dies betrifft nur die physikalische Dosis; biologisch kommt als sehr unangenehm hinzu, daß die Raumdosis enorm ansteigt. Die Zunahme der Tiefenintensität, die Verbesserung des Dosenquotienten, beträgt nur wenige Prozent. Ungünstig waren unsere eigenen Erfahrungen auch in bezug auf die Lebensdauer der Röhren. Offenbar ist die Anwesenheit der großen „Massen" in der nächsten Umgebung der Röhre nicht gleichgültig für diese. Mit der Pugaschen Rinne liegen wohl weitere Erfahrungen noch nicht vor.

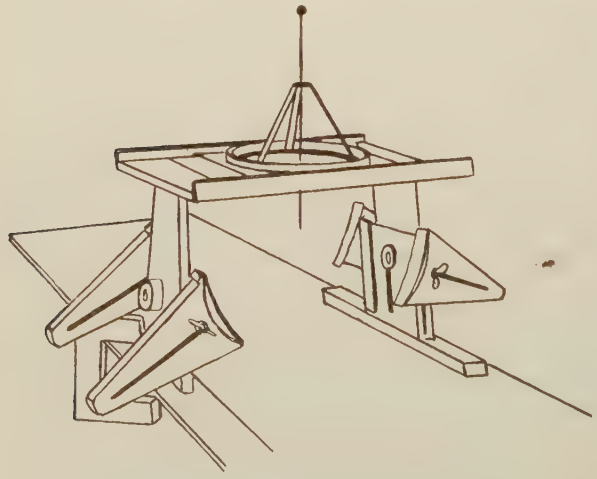


Abb. 32. Bestrahlungsbrücke nach Warnekros-Dessauer.

Das Grödelsche Instrument beruht in der Vorschaltung von Paraffin vor die Haut. Es soll ebenfalls durch Streustrahlenzusatz die Röntgenintensität, vor allem den Dosenquotienten erhöhen. Weitere Verbreitung hat das Gerät wohl nicht gefunden.

Einen neuen und interessanten Weg hat Rahm — offenbar aber noch mit sehr primitiven Hilfsmitteln — eingeschlagen. Er versucht die Röntgenstrahlen wie in einer „Sammellinse" zu konzentrieren, also dem

Dispersionsgesetz entgegenzuarbeiten. Dazu dient ihm eine Wabenblende, welche er mit Paraffin ausgießt und überdeckt (Abb. 35). Nach seinen Meßresultaten ist eine „Sammlung" der Strahlen scheinbar vorhanden, ob seine Überlegungen der Kontrolle durch den Physiker standhalten werden, ist eine andere Frage.

ad 3. Schon lange Zeit gehen die Bestrebungen zurück, kompliziert gestaltete oder Organe mit zu kleiner Oberfläche — Arme, Beine, Hals — durch Zufügung toter Massen so „einzubauen", daß geometrisch einfache Körper mit relativ großer Oberfläche — wo man leicht mehrere Strahlenfelder ansetzen kann — entstehen. Chaoul verwendete Säckchen, welche mit Bolus alba gefüllt waren, ich selbst nahm pulverisiertes Paraffin; Jüngling empfahl Wasserkissen, Guthmann angefeuchtete Zellstoffwatte, Fürst einfachen Bruchreis. Die Verfahren sind zweifellos alle gut, doch sollen sie sich in gewissen Grenzen halten. Mehr als wie

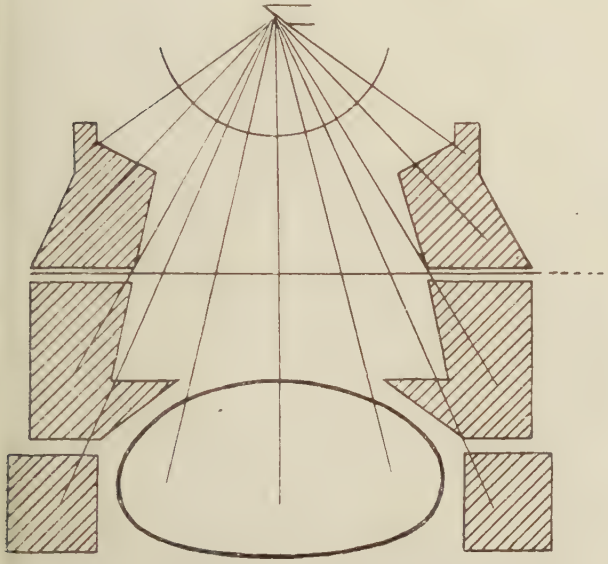


Abb. 33. Der Chaoulsche Strahlensammler (Schema).

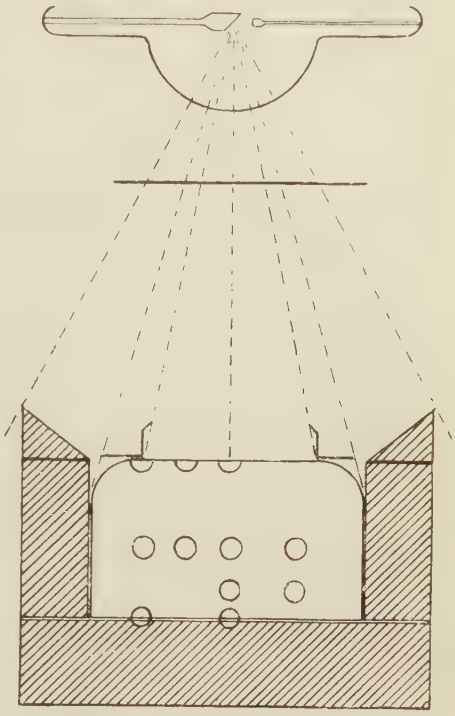


Abb. 34. Die Streuungsrinne. Nach Puga (Schema).

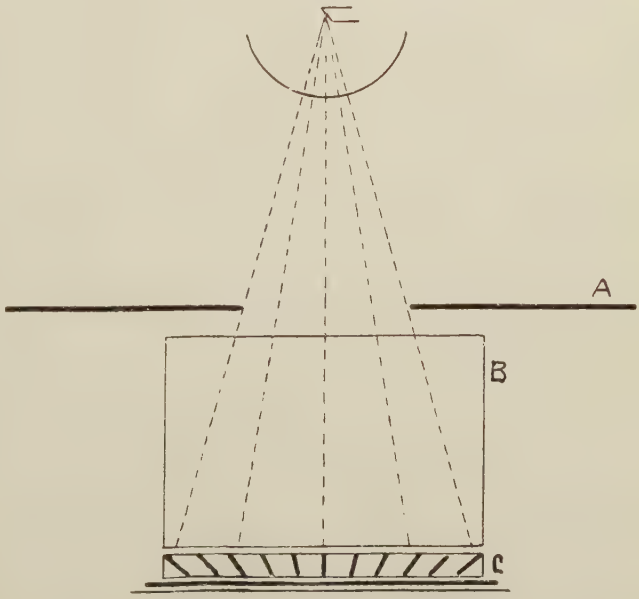


Abb. 35. Konzentrationsbestrahlung nach Rahm. A. Filter. B. Paraffin. C. Wabenblende.

unebene Flächen zu planieren und bei kleinen Organen die Oberfläche zu vergrößern braucht man nicht. Von den sog. „Überschichten" ist nach den Untersuchungen von Holfelder unbedingt abzuraten. Sehr wichtig ist es, die Rima ani et natium gut auszufüllen.

D. Bestrahlungsmethoden.

Aus dem, was in den Abschnitten A, B und C besprochen wurde, setzen sich die Bestrahlungsmethoden zusammen. Unendliche Variationen sind möglich und werden in der Tat angewendet. Vielleicht gibt es nicht zwei Institute, wo ganz genau die gleichen Methoden geübt werden. Ja noch mehr: fast jedes Institut wechselt in kürzeren oder längeren Zeitabschnitten „seine Methode" je nach dem Stande der augenblicklichen Kenntnisse, der eigenen Erfahrungen oder gar dem medizinisch-biologischen Empfinden. Wenn wir im folgenden Methoden mit Autorangabe beschreiben, so kennzeichnet das gewisse Schulen, gewisse Grundprinzipien. De facto kann man sich das Vorgehen fast aller Schulen nach großen gemeinsamen Gesichtspunkten wieder in eine Methode vereinigt denken, und, wenn es auch lebhaften Widerspruch hervorrief, so hatte Holzknecht doch ganz recht, als er einmal von der Wintz-Warnekros-Dessauer-Wieserschen Methode der Tiefentherapie sprach.

Wir wollen unsere Besprechung in zwei Abschnitte gliedern, einen allgemeinen und einen speziellen. Im allgemeinen Teile muß vom Prinzip der Homogenbestrahlung, der Einzeit- und Mehrzeitbestrahlung und von der Dosismessung die Rede sein; im speziellen Teile sollen die Methoden von Seitz-Wintz (einschließlich der Verkupferung), Warnekros-Dessauer, Opitz-Friedrich, Martius und mir selbst dargestellt werden.

I. Allgemeiner Teil.

Wintz schreibt in seiner „Röntgenbehandlung des Uteruskarzinoms", daß die eingehende, durch zahlreiche Abbildungen illustrierte Einstelltechnik „nichts anderes sein will als eine Grundlage, auf der sich die individuelle Einstelltechnik aufbauen soll". Wintz fordert also geradezu auf, obwohl gerade er mit am schärfsten die Prinzipien einer Schule vertritt, zu individualisieren. Nur an den großen Richtlinien soll festgehalten werden, weil diese erst die Möglichkeit der frei schaffenden Variationen geben. Eigentlich sollten wir deshalb die spezielle Technik zuerst darstellen und daraus erst unser Resümee in einem allgemeinen Teile zusammenfassen. Wenn wir das nicht tun, so geschieht es aus dem Grunde, dem Leser schon bei der Lektüre des speziellen Teiles die Möglichkeit der Kritik und des tieferen Verständnisses für die einzelnen Technizismen an die Hand zu geben.

Als ganz grundlegende Prinzipien in der Therapie des Karzinoms gelten bisher noch zwei:

1. das Gewebe ist **homogen** zu bestrahlen,
2. die Karzinomdosis ist in relativ **kurzer Zeit** zu erreichen. Es darf als eine vielgewünschte Forderung angeschlossen werden:
3. die verabreichte Dosis ist **objektiv** zu bestimmen.

Nach diesen drei Gesichtspunkten wollen wir die folgenden Besprechungen gliedern.

a) Die Homogenbestrahlung.

Die Homogenbestrahlung zum Prinzip in der Behandlung der Karzinome erhoben zu haben, ist das Verdienst Dessauers. Von der biologischen Tatsache (Hertwig)

ausgehend, daß verschiedene Zellen auf den Strahlenreiz verschieden reagieren — verschiedene Sensibilität zeigen — forderte Dessauer die homogene Durchstrahlung des Gewebes, weil

1. nur dadurch die verschiedene Sensibilität der Zellen erkannt werden kann,
2. nur dadurch die verschiedene Sensibilität einen therapeutischen Nutzen verspricht, indem die empfindliche Zelle zugrunde geht, die weniger empfindliche erhalten bleibt.

Der Physiker stellte sich nunmehr die Aufgabe und suchte nach Methoden, ein größeres Gebiet homogen zu durchstrahlen. Es ergab sich dabei, daß man zwischen qualitativer und quantitativer Homogenität unterscheiden müsse, daß aber die Lösung der Aufgabe in physikalisch-technischer Hinsicht möglich sei. Die Methoden von Dessauer-Warnekros, Seitz-Wintz, Opitz-Friedrich, v. Jaschke-Siegel, Martius u. a. verfolgen alle mehr oder minder dieses Ziel. Dessauer und Warnekros bestrahlen dabei ein Gebiet, das fast eine Größenausdehnung von 15 × 15 × 12 cm hat; das Seitz-Wintzsche Homogenfeld mißt dagegen vielleicht nur 8 × 8 × 6 cm.

Diese Gegenüberstellung der „Raumdosen" muß schon stutzig machen. Es liegt die Annahme nahe, daß im Falle Dessauer-Warnekros die Bestrahlung um eines physikalischen Problems willen Formen und Umfang angenommen hat, welche für den Organismus nicht gleichgültig ist. In der Tat ist an vielen Orten und von Warnekros selber die Beobachtung gemacht worden, daß die extreme Homogendurchstrahlung des Beckens, welche nur durch die Vergrößerung der Einfallsfelder erreicht werden konnte, keine günstigen Resultate bezüglich der Heilung vom Krebse zeitigte. Die Höhe der Gesamtdosis und die Größe der Strahlenfelder werden angeschuldigt, an diesem Mißerfolg in erster Linie beteiligt zu sein.

Es ist interessant, in diesem Zusammenhange Holzknecht zu hören, der in einem Vortrage vom 19. November 1923 im internen Kreise sich über die Homogenbestrahlung als Prinzip eingehend geäußert hat. Holzknecht bekennt sich dort zunächst einmal zu dem Standpunkte, daß er selbst kaum je die Homogenbestrahlung mit besonderer Absicht angewandt, daß er aber mit großem Interesse ihre Entwicklung verfolgt habe. Er betont weiter, daß die Homogenbestrahlung als ganz allgemeine und prinzipielle Forderung nicht anerkannt werden könne, insofern bei nicht gerade malignen Erkrankungen, wie der Leukämie, der Hyperglobulie, bis zum gewissen Grade auch der Tuberkulose, entweder die Teilbestrahlung oder die „Nur-Herd"-Bestrahlung entschieden gegenüber der Homogendurchstrahlung vorzuziehen sei. Teilweise ist dieselbe nicht möglich (Drüsenleukämie), teilweise würde sie die Umgebung (Leber, Magen) viel zu wenig schonen. Für wirklich maligne Tumoren hält Holzknecht die Homogenbestrahlung wohl für richtig (das Prinzip), doch betont er, daß praktisch bisher von einer Homogenbestrahlung noch gar nicht gesprochen werden könne. Die angegebenen Methoden — er meint offenbar die von Seitz-Wintz und Warnekros-Dessauer — seien zu ungenau (in bezug auf Zeit- und Intensitätsmessung), zu kompliziert und für die Mehrzahl der Therapeuten zu schwierig. Von einer absoluten Homogenität, welche das biologische Gesetz, von dem Dessauer ausgegangen sei, fordere, sei überhaupt keine Rede.

Die Ausführungen Holzknechts werden der Wirklichkeit nicht nur gerecht, sie regen auch zu neuen Gedanken an.

Es erhebt sich die Frage: Ist die Homogendurchstrahlung des kleinen Beckens beim Kollumkarzinom überhaupt ein erstrebenswertes Ziel? Haben wir nicht weit bessere Resultate bei der nicht homogenen Radiumbestrahlung? Überwiegen nicht deutlich die Erfolge der Seitz-Wintz-

schen Technik gegen die der Dessauer-Warnekrosschen? Leistet die Kombinationstherapie Radium-Röntgen nicht deshalb mehr, weil die Inhomogenität des Strahlenfeldes wieder geschaffen ist? Ist die Besserung der Heilresultate, über welche Wintz mit Hilfe der Verkupferung berichtet, nicht auf die bewußte Inhomogenität des Strahlenfeldes zurückzuführen?

Die Zahl der Fragen enthüllt die Zahl der Probleme. Doch sind wir weit entfernt, nunmehr nur der Homogenität das Urteil zu sprechen. Wir haben früher schon betont und wiederholen es hier, daß wir für die überraschenden Erfolge der Radiumbestrahlung mit kleinen Dosen an den Einfluß der erhaltenen Ovarialfunktion denken und möchten damit dringend raten, ja nicht die vielfältigen biologischen Probleme, welche sich mit jeder Änderung der physikalischen Bedingungen aufdrängen, außer acht zu lassen.

Die hier angeschnittenen Fragen betreffen in erster Linie die räumliche Homogenität; auch die Fragen der qualitativen Homogenität könnten eine sinngemäße Analyse vertragen. Ob nicht die direkte Bestrahlung des Portiotumors und vielleicht mit weicheren Strahlen Vorteile bieten würde, ist bisher noch nicht versucht; alle älteren Erfahrungen mit unzureichenden Meß- und Einstellmethoden können hier keine Berücksichtigung finden. Was dem Gedanken vielleicht Berechtigung gibt, ist die Besserung der Erfolge bei der Verkupferung; die Sekundärstrahlung ist bekanntlich weicher als die Primärstrahlung[1]).

Zusammenfassung: Die Homogenbestrahlung als wichtiges Prinzip der Bestrahlungstherapie steht nicht mehr unerschüttert fest; das gilt in erster Linie von der räumlichen Homogenität und von der Homogenität in größeren Bezirken. An der qualitativen Homogenität wird vorerst noch festzuhalten sein, doch erscheinen auch in dieser Hinsicht Versuche erlaubt, mit weicheren Strahlen den Primärtumor direkt anzugehen (Braun).

b) Der Zeitfaktor.

Je nach der zeitlichen Verteilung der Bestrahlungssitzungen unterscheidet man einzeitige und mehrzeitige Bestrahlungen.

Wintz fordert für das Kollumkarzinom mit aller Entschiedenheit die einzeitige Bestrahlung, d. h. es soll in einem Zeitraume von etwa 5—5½ Stunden die volle Karzinomdosis erreicht sein. Eine Verzettelung der Dosis bis auf 2 oder 2½ Tage hat ihm eine deutliche Verschlechterung im Material nicht ergeben, doch vermeidet er dies, wenn es nur irgend angängig ist. Die Verteilung der Karzinomdosis auf 10 Tage setze die Wirkung um vielleicht 50% herab, so daß nunmehr statt 100% ca. 150% der H.E.D. gegeben werden müßten, um die volle Karzinomdosis zu erhalten.

Die Herabsetzung der Wirkung bei einer derartigen Verteilung der Dosen hat schon Krönig beobachtet. Täglich 10% der Hautdosis auf die Haut eingestrahlt, ergab kein Erythem. Wintz fand, daß die ovarielle Kastration erst mit 50—55% (statt 34%) erreicht wird, wenn die Dosen in Zehntelteilen gegeben werden. Anderseits muß ich an die Beobachtungen von Waeber, Hauschting und Zander beim Radium erinnern, denen es bekanntlich gelang, mit 10mal $^1/_{10}$ der H.E.D. alle 24 Stunden bestrahlt ein richtiges Erythem zu erzeugen.

Als absolut feststehend darf also die Behauptung nicht angesehen werden, daß

[1]) Wie mir Braun-Chemnitz neuerdings mitteilte, hat er die hier angeführte Methode der „gemischten" Bestrahlung seit längerer Zeit an der Frauenklinik Chemnitz angewendet und ist mit dem primären Erfolg sehr zufrieden gewesen.

nur die einzeitige Karzinombestrahlung zum vollen Erfolge führt. Es kommt hinzu, daß auch Seitz und Wintz de facto keine reinen einzeitigen Bestrahlungen ausführen, sondern nach Behandlung des Primärtumors (des Portiokarzinoms) 6—7 und 13—14 Wochen später die Bestrahlung der Parametrien anschließen, welche bis dahin keine Volldosis erhalten haben. Theorie und Praxis stehen hier also in einem klaffenden Gegensatze.

Die mehrzeitige oder intermittierende Bestrahlung ist die alte Methode von Albers-Schönberg und von Holzknecht. Albers-Schönberg bestrahlte bekanntlich die Metropathien alle paar Tage einige Minuten lang bis zum Erfolg der dauernden Blutungshemmung. Sein Prinzip ist von der Intensivbestrahlung nahezu ganz verdrängt worden — nur verschleierte Beibehaltung durch Seitz-Wintz — bis es durch Opitz eine etwas veränderte Wiedergeburt erlebt hat. Opitz-Friedrich halten an der Intensivbestrahlung bis zur Höhe von 150 e fest, kombinieren dazu mit Radium und wiederholen die gleiche Bestrahlung; in welcher Zeit die 150 e mit Röntgenstrahlen gegeben werden, ist unbekannt.

Bei der Besprechung der intermittierenden Bestrahlung weist Martius auf Beobachtungen von Glocker, Rothacker und Schönleber hin, wonach die einmalige Bestrahlung unter Umständen genügt, eine chemische Reaktion in Gang zu bringen, welche dann unabhängig von der Strahleneinwirkung weitergeht (Ausscheidung von Jod aus Jodoformlösung). Martius regt den Gedanken an, ob eine ähnliche (katalytische) Wirkung der Röntgenstrahlen auch im Organismus zu erwarten bzw. anzunehmen sei. Ich glaube, man kann den Glockerschen Versuch hier nicht zum Vergleich heranziehen, weil das Jod — vor allem in Gegenwart von Wasser — als Katalysator wirken kann. Trotzdem ist zuzugeben, daß die einmalige Einwirkung der Röntgenstrahlen auf lebende Zellen die sein kann, daß sie im Verlauf ihrer Fortpflanzung relativ rasch — rascher, als dem natürlichen Zelltod entspricht — absterben. Mir wenigstens ist es gelungen, bei Hefekulturen, welche ich bestrahlt hatte, ähnliche Beobachtungen zu erheben.

c) Die Messung der Dosis.

Die Bestimmung der verabreichten Dosis ist ein wichtiges Kapitel bei jeder Bestrahlung, gleichgültig, ob es die Haut oder ein tief gelegenes Organ betrifft. Wir sind gewohnt, nur nach der Zeit zu dosieren, d. h. darauf zu sehen, daß alle Betriebsbedingungen — Spannung, Härte, Milliamperezahl, Abstand — konstant erhalten werden und die Menge der Röntgenenergie mit der Uhr bestimmt wird. Eine solche Dosismessung bezeichnet man als indirekt.

Die indirekte Dosismessung hat den großen Nachteil, daß ihr eine ganze Reihe von Berechnungen zugrunde liegen, welche einzeln oder alle zusammen mehr oder minder falsch gemacht werden können, so daß eine absolute Gewähr für die Richtigkeit der Dosis — damit aber vor allem für die Vermeidung von Schädigungen — nicht gegeben ist. Es kommt hinzu, daß Netzschwankungen oder Betriebsbedingungen an der Röhre erhebliche Unterschiede in der Röntgenintensität bedingen können, welche auch durch häufige Kontrollen der physikalischen Bedingungen, durch Nacheichen der Röhren, durch Schwankungen an den Meßinstrumenten (Volt- und Amperemeter) nicht mit genügender Deutlichkeit und Sicherheit erkannt werden können.

Holzknecht hat deshalb die „doppelte Sicherung der Schädigungsgrenzdosis“ durch Hinzunahme der direkten Messung zur indirekten gefordert.

Unter direkter Messung versteht man die Ablesung der Gesamtdosis vom Beginn bis zum Ende der Bestrahlung; sie setzt keinerlei Berechnungen voraus und bietet deshalb eine große Sicherheit.

Als Methoden der direkten Messung der Röntgenenergie kommen heute im wesentlichen zwei in Betracht: die Holzknechtsche Radiometermessung und der Siemenssche Dosiszähler.

a) Das Holzknechtsche Radiometer verwendet bekanntlich die Sabouraudtablette, deren Farbveränderungen an einer gefärbten Skala geprüft werden. Erfahrungsgemäß muß die Bräunung der Tablette bei einer bestimmten Strahlung bekannt sein, weil sonst eine Abschätzung der verabreichten Dosis nicht möglich ist. Irgendein Vergleich der Dosen, welche mit Strahlen verschiedener Qualität gegeben wurden, ist absolut ausgeschlossen.

b) Der Siemenssche Dosiszähler ist durch Jaeger eingehend beschrieben worden. Es handelt sich dabei um die Entladung einer Kapazität über die bestrahlte Ionisationskammer hinweg und die selbständige und fortdauernde Neuaufladung und Entladung der Kapazität. Jede Entladung und Neuaufladung wird durch die Dosisuhr registriert. Sie gibt also an, welche Intensität insgesamt verabreicht wurde. Es ist klar, daß die abgelesene Dosis unabhängig ist von allen Intensitätsschwankungen, welche während der Bestrahlung etwa eingetreten waren.

II. Spezieller Teil.

1. Die Bestrahlungsmethode von Seitz-Wintz.

Die Bestrahlungmethode des Uteruskarzinoms, wie sie in Erlangen ausgebildet worden ist, vollzieht sich in drei Etappen. Sie besteht aus der Vorbehandlung, der eigentlichen Bestrahlung und der Nachbehandlung. Wintz betont ausdrücklich, daß, wenn auch die Einstellung und Dosierung das ausschlaggebende Moment in der Karzinomtherapie darstellten, die Bestrahlung doch im Rahmen der Allgemeinbehandlung angewendet werden müsse.

a) Die Vorbehandlung.

Auch die Vorbehandlung zerfällt in mehrere Abschnitte, selbst wenn man die Diagnose und die evtl. Probeexzisionen, welche übrigens nur ungern von Wintz gemacht, am liebsten sogar ganz verworfen werden, durch den überweisenden Arzt nicht mit rechnet. Ein großer Wert ist auf die Beobachtung des Allgemeinzustandes und die Aufnahme der Anamnese zu legen. Erkrankungen des Herzens und der Kreislauforgane bedürfen einer Behandlung, weil die Karzinombestrahlung eine erhebliche Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens mit sich bringen kann. Das Blutbild ist genau zu erheben. Ein Hämoglobingehalt von unter 35% Hämoglobin bei nur 2500 weißen Blutzellen (vielleicht sogar mit Lymphopenie) stellen eine absolute Kontraindikation gegen die sofortige Bestrahlung dar. Basedowkranke, Nierenentzündungen, Jodeinpinselungen und -einreibungen, Arsen- und Quecksilberkuren erhöhen erfahrungsgemäß die Empfindlichkeit der Haut und sind bei der Aufstellung des Bestrahlungsschemas zu berücksichtigen. Vorausgegangene Erkrankungen des Darmes, Peritonitiden, entzündliche Prozesse im Beckenbindegewebe (endophytische Karzinome!) und an den Adnexen müssn anamnestisch festgestellt und Residuen in Gestalt von Adhäsionen und Verklebungen des Darmes evtl. sogar durch Bariumeinlauf ausgeschlossen werden. Selbstverständlich muß vor der Bestrahlung der letzte Rest des Bariums entfernt werden, weil es als Sekundärstrahler wirkt. Zystitis, welche besonders bei fortgeschrittenen Karzinomen so häufig besteht, muß behandelt werden. Klingt sie nicht vollständig ab, so ist eine völlige Heilung nicht abzu-

warten, aber besonderer Wert auf das Verhalten der Blase in der Nachbehandlung zu legen.

Die unmittelbaren Vorbereitungen für die Bestrahlung bestehen in der Regel in der Entleerung von Blase und Mastdarm und in dem Verbot der Nahrungsaufnahme. Es ist wichtig, daß der Darm gründlich gereinigt ist und daß vor allem Skybala nicht im unteren Abschnitte des Rektums zurückbleiben, weil sie mechanisch reizen und wohl auch als Sekundärstrahler wirken können. Über das Nüchternbleiben der Patientin bestehen Meinungsverschiedenheiten; Tee und Weißbrot oder Suppe lehnt Wintz ab wegen der dadurch angeregten Magensekretion; er empfiehlt aber gern 1—2 Eier, welche die Magensekrete binden.

Die direkt technischen Vorbereitungen bedürfen keiner weiteren Besprechung, sie sind in dem Abschnitt über Apparatur besprochen oder müssen als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Als einen besonderen Teil der technischen Vorbereitungen hat aber Wintz neuerdings

die Verkupferung

eingeführt, auf welche hier mit ein paar Worten eingegangen werden muß.

Die Verkupferung bzw. die Einwirkung der Kupferionen ist als ein Adjuvans der Strahlenwirkung gedacht. Es soll einerseits in den Kupferatomen eine Sekundärstrahlung entstehen, welche die Absorption der Strahlung im Gewebe und damit seine biologische Wirkung steigert. Es soll weiterhin durch das Kupfer eine Sterilisation des meist infizierten Bestrahlungsgebietes erreicht werden, und endlich soll — auf dem Wege der oligodynamischen Wirkung — ein schädigender Einfluß auf die Krebszellen selbst erzielt werden.

Als Kupfersalz hat sich Wintz das Kupferselen am besten bewährt. Es wird auf einem aus Gaze bestehenden Schwamm so in die Scheide eingebracht, daß pro Minute etwa 15—20 Tropfen zufließen. Durch Elektrolyse und Kataphorese, d. h. durch Einlegung eines galvanischen Stromes, der vom Vaginalgewölbe nach den Bauchdecken oder dem Rücken fließt, wird das Kupfersalz durch das Strahlengebiet hindurchgezogen. Die Stromstärke dieses Stromes soll nicht mehr als 40—50 Milliampere betragen, die Gesamtdauer der Galvanisation beträgt etwa 6 Stunden.

Die technische Anordnung, über welche Wintz erst vor kurzem berichtet hat, ist so getroffen, daß die Zuführung des Kupfersalzes in die Scheide durch einen Irrigatoransatz geschieht, welcher gleichzeitig als positiver Pol (Anode) des galvanischen Stromes verwendet wird. Der negative Pol (die Kathode) besitzt die Gestalt einer Plattenelektrode von 300—400 qcm Fläche. Sie wird zur Verbesserung des Kontaktes mit Kochsalz angefeuchtet und stark auf die Haut aufgedrückt. Auch die Anode in der Vagina muß in fester Berührung mit der Haut liegen, damit Schmerzempfindungen und Verbrennungen vermieden werden.

Als Vorteil der Verkupferung rühmt Wintz

1. die gesteigerte Empfindlichkeit des Karzinomgewebes gegen die nachfolgende Röntgenbestrahlung, welche nach seinen Messungen etwa 20% beträgt;

2. die raschere Rückbildung der karzinomatösen Geschwülste für Auge und Finger;

3. die raschere und vollständigere Vernarbung des vorher zerfallenden Gewebes;

4. die wesentliche Verbesserung der statistisch feststellbaren Erfolge, soweit das auf Grund vorläufiger Erhebungen möglich ist.

Gefährlich an der Methode scheint nur die Überdosierung und die mögliche Nekrose im Bereich der Anode zu sein. Nierenschädigungen, welche auch beobachtet worden sind, kommen nur vor, wenn der Zustand der Niere vorher nicht ganz einwandfrei war.

Die Röntgenbestrahlung wird der Verkupferung innerhalb 24 Stunden angeschlossen.

b) Die Röntgenbestrahlung.

Die Einstelltechnik, wie sie in der Erlanger Klinik durch Seitz und Wintz ausgebildet worden ist, erlaubt und erfordert gewisse Individualisierung je nach der Dicke der Frauen. So ändert sich die Zahl der Felder und die Einstellung bei Frauen mit weitem Becken und starker Fettauflagerung in der Art, daß 2 Felder zugesetzt werden.

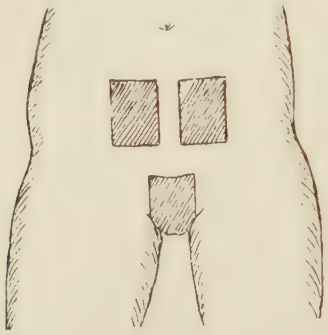


Abb. 36. Seitz-Wintzsche Methode. Die 3 Bauchfelder; das Vulvafeld wird bei leichter Spreizung der Beine angesetzt.

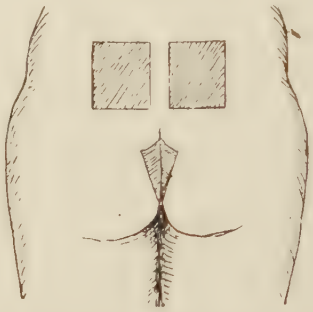


Abb. 37. Seitz-Wintzsche Methode. Die 3 Rückenfelder; das Kokcygealfeld wird nach Entfaltung der Rima ani angesetzt (s. Abb. 39).

Außerdem wird Rücksicht genommen auf die hoch- oder tiefstehende Portio, und geändert wird auch die Bestrahlung der Parametrien, welche stets 7—8 Wochen nach der Bestrahlung des Primärtumors erfolgt. Sie kann einzeitig oder mehrzeitig, d. h. wiederum nach 7—8 Wochen vorgenommen werden.

Bei Frauen mit normalem Becken und mittlerer Fettauflage werden vom Bauch und Rücken je 3 Felder gegeben (Abb. 36 u. 37). Die Röhre wird dabei so gerichtet,

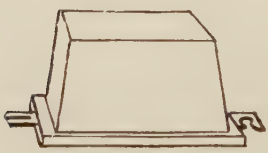


Abb. 38. Röhrentubus 6 × 8 cm bei der Methode Seitz-Wintz.

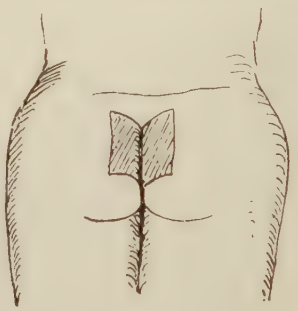


Abb. 39. Das Kokcygealfeld. Entfaltung der Rima ani.

daß die Vereinigung der Zentralstrahlen in der Gegend der Portio gewährleistet erscheint. Stets wird das zu bestrahlende Feld durch den Tubus (Abb. 38), der am Röhrenkasten angesetzt ist, komprimiert, um einerseits die Entfernung zwischen Haut und Portio zu verringern und anderseits die Haut zu anämisieren, was ihre Empfindlichkeit nach den Angaben von Wintz um ca. 15% herabsetzt. Besondere Schwierigkeiten bereitet die Einstellung des sog. Vulva- und Kokcygealfeldes. Das Vulvafeld wird bei leicht gespreizten Beinen angesetzt und die Röhre durch Unterlage eines Sandsackes besonders gestützt. Das Kokcygealfeld erfordert die Auseinanderziehung der Nates (Abb. 39) und

die Erhaltung dieser Position durch die Hände des Assistenten bis zur Kompression durch den Tubus. Die Lagerung der Patientin muß besonders sorgfältig vorgenommen werden und der Steiß durch Unterpolsterung des Leibes entsprechend hochgelegt werden.

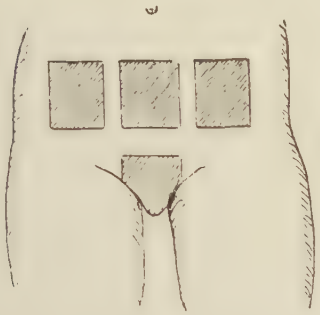


Abb. 40. Methode Seitz-Wintz. Die 4 Bauchfelder bei dicken Frauen.

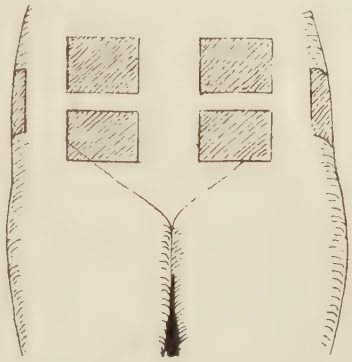


Abb. 41. Methode Seitz-Wintz. Die 4 Bauch- und 2 Seitenfelder für die Bestrahlung der Parametrien (gewöhnliche Anordnung).

Bei tiefstehender Portio wendet Wintz ein direktes Vulvafeld an, weist aber besonders auf die sorgfältige Abdeckung der Oberschenkel und der Beine durch Bleigummiauflagen hin.

Bei Frauen mit breitem Becken und starker Fettauflage werden 4 Felder von vorn und 4 Felder von hinten verabreicht. Zwischen die beiden seitlichen Bauch-

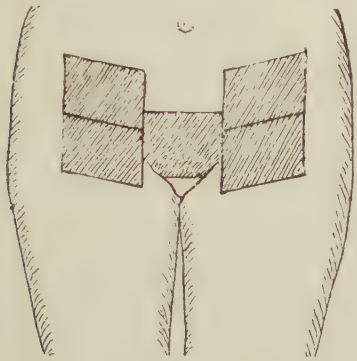


Abb. 42. Methode Seitz-Wintz. Die 4 Bauchfelder und das supra- symphysäre Feld zur Bestrahlung der Parametrien bei dicken Frauen. Das suprasymph. Feld wird nach der linken Seite konzentriert.

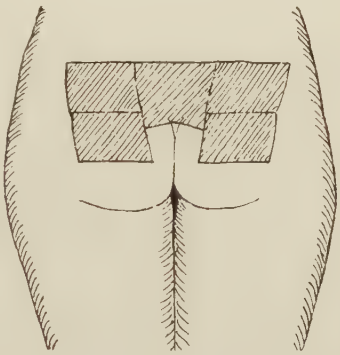


Abb. 43. Methode Seitz-Wintz. Die 4 Rückenfelder und das sakrale Mittelfeld zur Bestrahlung der Parametrien bei dicken Frauen. Das sakrale Mittelfeld wird nach der rechten Seite konzentriert.

bzw. Rückenfelder, welche etwas zur Seite gedrängt werden, schiebt sich je ein Mittelfeld ein. Das Vulva- und Kokcygealfeld behalten ihre Lage (Abb. 40).

Die Bestrahlung der Parametrien erfolgt in der Regel 7—8 Wochen (früher 6—7 Wochen) nach der Bestrahlung des Primärtumors. Sie läßt sich bei mageren und mittelstarken Patienten in einer einzigen Sitzung durchführen. Nur bei Patienten mit starker Fettauflage muß eine Zweiteilung vorgenommen werden. Der Be-

strahlungsplan sieht 1 Abdominalfelder, 1 Dorsalfelder und 2 seitliche auf der Darmbeinschaufel aufsitzende Felder vor. (Abb. 41). Falls die Bestrahlung einzeitig erfolgt, kommt in Einzelfällen (bei starken Frauen) zu diesen 10 Feldern noch ein 11. und 12. hinzu, welche vorn als suprasymphysäres, hinten als sakrales Mittelfeld zu bezeichnen wären. Das vordere dient zur Einwirkung der Strahlen auf das eine, das hintere zur Einwirkung auf das andere Parametrium (Abb. 42 u. 43).

Handelt es sich um starke Patienten mit großem Becken, so werden die Parametrien intermittierend, und zwar zuerst das rechte (um dem Mastdarm noch eine Schonzeit zu gewähren), dann das linke bestrahlt. Als Einfallsfelder werden dazu gewöhnlich 3 vordere und 3 hintere, wobei das vordere und hintere Mittelfeld selbstverständlich auf das gleiche Parametrium konzentriert wird, gewählt. Für die genannten beiden Felder besteht übrigens bei dieser Methodik eine erhebliche Gefahr weil sie in Abständen von 6—7 Wochen 3mal mit der vollen Hautdosis belegt werden. Wintz gibt an, daß die Haut eine derartige Schädigung eben noch aushält, aber regelmäßig mit einer Induration reagiere, die 1—2 Jahre anhält. Für die Bestrahlung vom Rücken aus empfiehlt Wintz deshalb bei der Bestrahlung des ersten Parametriums das eigentliche Sakralfeld, bei der Bestrahlung des zweiten Parametriums das Kokcygealfeld zu verwenden.

Die Seitz-Wintz-Methode hat große Verbreitung gefunden, weil sie nicht nur die erste war, welche schon 1914 in systematischer Weise zur Anwendung kam, sondern weil auch die Primärerfolge wegen des zweifellos schonenden Verfahrens sehr beachtlich sind. Manche Röntgentherapeuten, welche der Seitz-Wintzschen Methode ablehnend gegenübergestanden haben, weil sie den „Wettlauf mit dem Karzinom", wie er bei der intermittierenden Bestrahlung zweifellos versucht wird, fürchteten, sind zu ihr zurückgekehrt (Mühlmann).

c) Nachbehandlung.

Die Nachbehandlug nach der Röntgenbestrahlung verdankt gerade Wintz eine systematische Ausgestaltung. Wintz fordert:

1. Ausgleich der gesetzten Schäden;
2. Eliminierung unerwünschter Zerfalls- und Stoffwechselprodukte;
3. Steigerung der Körperresistenz gegen die neue Erkrankung an Karzinom;
4. die Unterstützung des lokalen Heilungsprozesses.

Die Schäden, welche bei der Röntgenbestrahlung gesetzt werden, sind lokal und allgemein. Die lokalen Schäden sind eine direkte Folge der Einstrahlung. Die Allgemeinschäden kommen dadurch zustande, daß das Nervensystem, das Blut und der Stoffwechsel in Mitleidenschaft gezogen werden, sie sind auch darauf zurückzuführen, daß die einschmelzenden Karzinommassen vom Körper resorbiert werden und pathologische Reaktionen auslösen.

Was die rein lokalen Schädigungen betrifft, kommt hier in erster Linie die Haut in Frage. Es wurde wiederholt betont, daß die Haut eine bestimmte Strahlenmenge verträgt, ohne kaum zu reagieren. Sie ist allgemein als Hauterythemdosis bekannt. Wintz weist aber darauf hin, daß eine Dosis unter der Hälfte der genannten genügt, um die Empfindlichkeit der Haut gegen mechanische und thermische Reize sehr zu erhöhen. Das Auflegen von heißen Kompressen, von Eisbeuteln, die Einreibung von Medikamenten, die Bestrahlung mit Höhensonne, mechanische Reibungen oder Druck können sehr erhebliche Hautschädigungen zur Folge haben. Es wird deshalb empfohlen, auf alle diese Dinge aufmerksam zu machen und bewußte Schädigungen prinzipiell zu verbieten. Nicht zu heiße Bäder sind wenige Wochen nach der Bestrahlung gestattet, doch soll nach jedem Bade eine milde Salbe — Ungt. leniens — eingerieben werden.

Die Schädigungen der Blase sind im allgemeinen nicht erheblich. Hat eine Zystitis bestanden, so ist ein besonderes Augenmerk auf ihre Behandlung zu richten, vor allem werden Trinkkuren empfohlen.

Sehr beachtlich ist, was Wintz über die Behandlung des Mastdarmes ausführt. Es wird betont, daß bisweilen der Mastdarm wegen der Ausbreitung des Karzinoms nicht so zu schonen ist, daß die Ulkusbildung vollkommen vermieden wird. In diesen Fällen muß für regelmäßige Stuhlentleerung, für tägliche Ölklistiere evtl. unter Zusatz kleiner Mengen von Perubalsam gesorgt werden. Auch kleine Ragaden sind genau zu beachten, weil sie unter Umständen zu rasch fortschreitenden Phlegmonen und Periproktitiden mit Übergang auf das Beckenbindegewebe führen können.

Der Röntgenkater, der zu einem Teil auf der Resorption von Stoffwechselprodukten aus dem zerfallenden Gewebe, zum Teil auf einer Labilität des Nervensystems, zum Teil vielleicht auf Störungen des Kochsalzstoffwechsels beruht, kann beschränkt werden durch Beruhigung der Patienten vor der Bestrahlung durch Pantopongaben, während der Bestrahlung durch gründliche Entleerung des Darmes, durch Kochsalzeinläufe und vor allem durch die Erlaubnis, bald nach der Bestrahlung etwas zu genießen. Selbst wenn die Patientin die ersten Speisen nicht behält, so kommt sie über den Zustand des Katers schneller hinweg, als wenn sie nüchtern bleibt. Ernstliche Beachtung bedürfen die Blutschädigungen, vor allem dann, wenn aus äußeren Gründen die Zahl der Felder (die Raumdosis) hat vermehrt werden müssen. Wintz empfiehlt prinzipiell nach der Bestrahlung die Verabreichung hoher Dosen von Arsen und Eisen, dann Aufenthalt in etwa 1000 m Höhe mit Liege- und Luftkur.

Wie erheblich die Resistenz des Körpers gegen die neue Erkrankung (das Rezidiv) gesteigert werden kann, geht daraus hervor, daß die Heilungsziffer für alle die Frauen, welche aus guten Verhältnissen stammen, etwa doppelt so hoch ist als für diejenigen, welche nach der Bestrahlung sich eine Schonung und Pflege nicht gönnen können.

Den lokalen Heilungsprozeß glaubt Wintz besonders dadurch unterstützen zu können, daß er nichts schadet. Probeexzisionen und jedes Vorgehen mit Instrumenten wird im Bereich der Portio möglichst vermieden. Was allein erlaubt ist, sind Spülungen evtl. in Verbindung mit Pulvereinblasungen, um den Ausfluß systematisch zu behandeln.

2. Die Bestrahlungsmethode von Krönig-Friedrich-Opitz.

Die Methode hat 2 oder, wenn man will, 3 Phasen durchgemacht. Krönig, dem wir, in gemeinsamer Arbeit mit Friedrich, wertvolle biologisch-physikalische Grundlagen in der Strahlentherapie verdanken, hat auf Grund seiner Untersuchungen die sog. Großfeldermethode mit weitem Fokushautabstand und harter Filterung angewendet, weil es sich gezeigt hatte, daß auf diese Weise die Dosis in der Tiefe in der wirkungsvollsten Weise zu steigern war. Zu systematischen Bestrahlungen des Kollumkarzinoms ist Krönig allerdings nicht mehr gekommen. Den Ausbau der Methode hat Opitz mit Friedrich unternommen.

Die nunmehrige Freiburger Methode ist eine kombinierte Radium-Röntgenbestrahlung und soll deshalb an dieser Stelle nicht eingehend besprochen werden. Prinzipiell aber fordert — oder richtiger gesagt: forderte — sie:

1. genaue Messung während der Bestrahlung unter Verabreichung einer notwendigen Dosis an der Portio von 150 e;

2. einmalige Bestrahlung, welche aber selbst in Verbindung mit der vorangehenden oder nachfolgenden Bestrahlung mit Radium an keiner wichtigen Stelle des Beckenbindegewebes 300 e überschreiten darf;

3. Abschluß der Bestrahlung bei den prinzipiell in die Klinik aufzunehmenden Kranken innerhalb 8—10 Tagen;

4. Unterstützung der Heilungswirkung — der Bindegewebswucherungen in erster Linie — durch hyperämisierende Verfahren, Blutinjektion und Protoplasmaaktivierung.

Wielange Opitz das hier gekennzeichnete Verfahren angewendet hat, steht nicht fest. In systematischer Verfolgung der von ihm vertretenen Auffassung, daß der Erfolg der Strahlentherapie lediglich als ein Eingreifen in den Kampf zwischen den Karzinomzellen und dem gesunden umgebenden Gewebe und den allgemeinen Schutzkräften des Organismus zugunsten der letzteren aufzufassen sei, bleibt Opitz in der Intensität der Bestrahlung weit zurückhaltender als Wintz und Seitz, d. h.

1. er erstrebt die Allgemeinbehandlung noch stärker als bisher;

2. er führt die Bestrahlungen intermittierend aus;

3. er hält nicht mehr an einer bestimmten Karzinomdosis fest, fürchtet vor allem auch nicht mehr die Reizdosierung, sondern bestrahlt, wartet den klinischen Erfolg ab und bestrahlt noch 2- oder 3mal nach.

Auf die Technik als solche wird kein sehr großer Wert mehr gelegt. Bauch- und Rückenfelder sind je 20 × 20 cm groß und liegen in 50 cm Abstand vom Fokus der Röhre. Härte der Strahlung ca. μ 0,150, Intensität 2—4 Milliampere. Eine Hautreaktion wird möglichst ganz vermieden, selbst das Erythem ersten Grades.

Kachektische Patientinnen müssen in ihrem Allgemeinbefinden zuerst erheblich gebessert werden, ehe die Bestrahlung Zweck hat und angewendet wird.

Die Methode von Opitz-Friedrich, von der man nicht gerade behaupten kann, daß sie in enge Fesseln geschlossen ist, welche aber den technischen und biologischen Bedürfnissen zweifellos weitgehend entgegenkommt, hat bisher wenig Verbreitung gefunden, was wohl besonders damit zusammenhängt, daß die Messung der Strahlen nach „e" nicht Allgemeingut, sondern ein Privilegium für Freiburg ist[1]). Im übrigen hat die Methode bisher noch nicht die Feuerprobe bestanden, d. h. es wird zwar über ihre beachtlichen Anfangserfolge berichtet, wie sich aber die Dauerheilungen verhalten — und nur diese besitzen einen wirklich entscheidenden Wert —, kann heute noch nicht gesagt werden.

3. Die Bestrahlungsmethode Dessauer-Warnekros.

Die genannte Methode ist aus einer Vielfelderbestrahlung entstanden. Warnekros verwendete zur Bestrahlung des Uteruskarzinoms ursprünglich 4 Bauch- und 4 Rückenfelder, doch gelang es ihm damit nur dann Erfolge zu erzielen, wenn am Schnittpunkt der Strahlenkegel etwa die volle Hautdosis erreicht wurde und wenn das Karzinom den primären Sitz noch nicht überschritten hatte. Das erstere war ein physikalisches Problem und hing mit der Durchdringungsfähigkeit der Strahlen und der Dicke der Patienten zusammen: das letztere gilt kaum je für das Kollumkarzinom, häufiger dagegen für das Korpuskarzinom. Der Mißerfolg beim nicht engbegrenzten Karzinom wurde von Warnekros auf die ungenügende Bestrahlung des Lymphgebietes im Becken zurückgeführt.

Um nun das ganze Ausbreitungsgebiet des Uteruskarzinoms homogen zu durchstrahlen, wurde aus der Achtfelderbestrahlung in der Berliner Frauenklinik ein Verfahren ausgebildet, welches seitdem als die Dessauer-Warnekros-Homogenbestrahlung bekannt ist.

[1]) Nach Opitz ist 150 e = leichtes Erythem (E.D. = Entzündungsdosis), 300 e = T.D. = tödliche Dosis der Haut(epithelien?).

Von 4 Großfeldern — vom Bauch, vom Rücken und von beiden Seiten — werden die Strahlen in die Tiefe geschickt. Durch Überkreuzung und Strahlensummation entsteht dadurch eine homogene Durchstrahlung des Körpers mit Schwankungen von höchstens $\pm 15\%$ (s. das Schema der Abb. 44).

Die Einstellung der Felder geschieht bei der Dessauer-Warnekrosschen Methode mit einem besonderen Gerät (Abb. 32), welches die Form einer Brücke hat und eine Verschiebung der Röhre nach drei Richtungen hin gestattet. Auf dem Bestrahlungstische kann das ganze Gerät in der Längsrichtung verschoben werden; Hebung und Senkung ermöglicht eine Einrichtung an den senkrechten Teilen der Brücke; die Röhre selbst kann auf der Brücke nach links und rechts bewegt werden. Nachdem die Röhre im Gerät genau zentriert ist, wird zwischen Fokus und Haut eine Blende eingelegt, welche je nach dem Abstande von der Haut ein verschieden großes Feld auf derselben

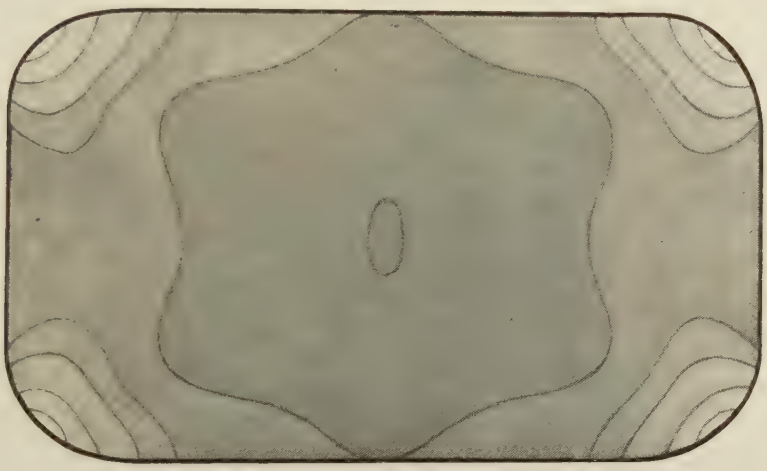


Abb. 44. Homogendurchstrahlung des Beckens nach Warnekros-Dessauer. Durch 4 Einfallsfelder — Bauch, Rücken, 2 Seiten — wird diese Homogenität erzielt.

umgrenzt. Die genaue Fixierung der Feldgröße gelingt leicht durch ein besonderes Einstellgerät.

Das Bauchfeld wird in Rückenlage, das Rückenfeld in Bauchlage der Patientinnen verabreicht. Die Seitenfelder sind nur zu geben, wenn die Frauen auf der Seite liegen. Eine Fixierung des Körpers erfolgt dabei durch die 4 Haltestützen, welche an dem Gerät angebracht sind. Es ist kein Zweifel, daß die Seitenlage immer etwas unbequem ist und auch nur schwer während der ziemlich langen Bestrahlung festgehalten werden kann. Kleine Verschiebungen des Körpers bedingen es aber, daß sich die Zentralstrahlen nicht mehr genau in der Mitte des Körpers vereinigen, was eine Verschlechterung der Homogendurchstrahlung im Organismus bedeutet.

Die Bestrahlung geschieht prinzipiell nur einmal, die Belastung der Haut erfolgt auf allen Feldern bis zur vollen Erythemdosis. Die gesamte Bestrahlungszeit beträgt etwa 6 Stunden.

Als Betriebsbedingungen gibt Warnekros an: 200 K.V. am Intensivreformapparat Filter 0,8 Cu + 1 Al., Stromstärke 2 Milliampere, Feldgröße am Bauch und Rücken 18 × 24, auf den beiden Seiten 9 × 12 cm. (H.E.D. ca. 100 R.)

Außer der Bestrahlung hat Warnekros eine große Reihe von Mitteln versucht, um den Körper im Kampf gegen das Karzinom zu unterstützen. Als typisch für die Warnekrossche Methode gilt die Einverleibung von Serum und die Bluttransfusion, welch letztere von außerordentlichem Vorteil gewesen ist. Man darf daraus vielleicht schließen, daß die Bestrahlung als solche sehr eingreifend ist, was aus dem riesigen Gebiet, welches mit Strahlen durchsetzt wird, ohne weiteres einleuchtet.

Außer der Bluttransfusion hat Warnekros Injektionen von Arsen, Neosalvarsan, Tumoremulsion und Thymusextrakt vorgenommen und vor allem bei der Arsenbehandlung über bisweilen auffallende Erfolge berichten können. Er weist darauf hin, daß nur insofern bei der Arsen- oder Neosalvarsanverabreichung Vorsicht geboten sei, als sowohl die Haut als auch der Darm eine gewisse Überempfindlichkeit nach der Injektion aufweisen können.

Der Dessauer-Warnekrosschen Methode ähnliche Verfahren haben Pankow und Borell, v. Jaschke und Siegel ausgebildet. Beachtenswert ist bei den letztgenannten Autoren besonders die Art der Dosierung. Von den Erfahrungen der Erlanger und Freiburger Klinik ausgehend, daß die Ovarialdosis etwa 34% der H.E.D. beträgt, haben sie experimentell die Zeit bestimmt, welche zur Erreichung der Ovarialdosis von 2 Großfeldern aus — Bauch und Rücken — bei einem Abstand von 50 cm Fokushaut notwendig ist. Nachdem dieser Wert festgelegt war, verabreichten sie die Karzinomdosis mit der Voraussetzung, daß dieselbe etwa 3mal so groß ist wie die Ovarialdosis. Sie bestrahlten dementsprechend — bei Betriebsbedingungen, welche hinter denjenigen von Berlin und Erlangen allerdings zurückstehen — ca. 8—10 Stunden lang jedes Feld.

4. Die Bestrahlungsmethode von Martius.

Martius gibt von seiner Methode an, daß sie ein Mittelding zwischen Erlangen und Freiburg sei. Ich möchte fast glauben, daß sie mehr in der Mitte zwischen der Berliner und der Erlanger Methode steht. Martius will jedenfalls die außerordentlich wichtigen Streustrahlen für die Vergrößerung der Tiefendosis ausnutzen, verlangt aber anderseits eine weitgehende Schonung des Gewebes im kleinen Becken. Als praktische Folgerung ergibt sich daraus, daß die Strahlenfelder mittelgroß sind. Außerdem ändert Martius seine Methode etwas, je nachdem, ob es sich um operable oder nichtoperable Karzinome handelt, d. h. er verwendet kleine Strahlenfelder, wenn der Krebs auf den primären Tumorsitz beschränkt ist, er vergrößert die Felder, wenn seine stärkere lymphatische Ausbreitung anzunehmen ist.

Die Einteilung der Felder bei Martius geschieht in folgender Weise:

1. ein Bauchfeld, 15 × 15 cm groß, 30 cm Fokushautabstand ohne Tubus; oder — falls das Karzinom ein operables oder ein Grenzfall ist — mit dem sog. anatomischen Bauchtubus (s. Abb. 45) mit 155 qcm Feldgröße und 23 cm Fokushautabstand. Bei der Bestrahlung mit dem Tubus wird eine möglichst weitgehende Kompression ausgeübt;

2. ein Rückenfeld, 15 × 15 cm, welches über dem Kreuzbein liegt und sich beinwärts etwas verschmälert, um dort genügend Platz zu schaffen für die nächsten Felder, nämlich die

3. zwei Glutaealfelder, welche links und rechts dem Sakralfeld unter Verwendung des anatomischen Tubus von Seitz-Wintz (Abb. 46) angesetzt und in der Richtung nach der Portio zentriert werden;

4. ein Vulva-Dammfeld, welches ebenfalls mit dem anatomischen Tubus von Seitz verabreicht wird, und zwar so, daß die Spitze des Tubus an der Symphyse liegt.

Die Einstellung der Felder geschieht zum Teil mit einem eigens konstruierten

Beckenzirkel, welcher vor allem die Tiefenbestimmung der Portio sehr genau festzustellen gestattet, und durch das Augenmaß.

Als Betriebsbedingungen gibt Martius eine Strahlung von $\mu = 0{,}149$ an, welche beim Intensiv- oder Neointensivreformapparat mit 1,0 mm Zink- und 1,0 mm Al.-Filterung erreicht wird. Intensität 2—4 Milliampere, H.E.D. bei 30 cm Abstand 76 bzw. 35 Minuten (= 435 R).

Die Methode von Martius ist in dieser Ausführlichkeit wohl zum ersten Male im Handbuch für die gesamte medizinische Anwendung der Elektrizität beschrieben; ob sie sonst noch verwendet wird, ist dem Verfasser nicht bekannt. Sie wird möglichst prinzipiell mit einer Radiumbestrahlung kombiniert. Nach Abschluß der 1. Bestrahlung erfolgt 10 Tage später eine 2., und zwar mit Radium allein, wobei ein langgestrecktes Radiumpräparat verwendet wird. Nach 6 Wochen erfolgt die 3. Bestrahlung, welche wiederum mit Radium allein geschieht und so dosiert wird, daß alle Radiumbestrahlungen zusammen (1., 2. und 3.) etwa 6000 Milligrammstunden erreichen (s. S. 649).

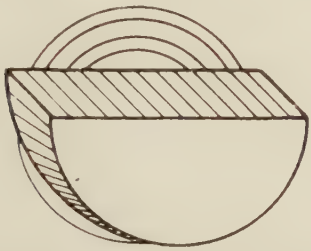


Abb. 45. Methode Martius. Sog. „anatomischer Bauchtubus" für ein einziges Bauchfeld; Fläche 185 qcm.

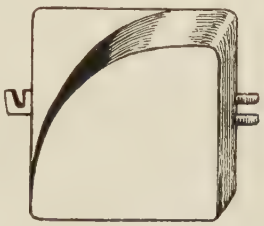


Abb. 46. Tubus nach Seitz-Wintz. Sog. „anatomischer Tubus" (halbes Bauchfeld). Fläche ca. 90 qcm.

5. Die eigene Methode.

Die Röntgenbestrahlung, wie sie in der Frauenklinik Dresden durchgeführt wurde, ist stets eine kombinierte Radium-Röntgenbestrahlung gewesen. Sie soll daher an jener Stelle noch einmal eine Würdigung erfahren.

Auch unsere Bestrahlungsmethode hat gewechselt. Anfänglich ganz an die Dessauer-Warnekrossche Methode angelehnt, zeichnete sie sich dieser gegenüber nur dadurch aus, daß sie in der Höhe der Dosis weit hinter jener zurückblieb[1]). Während Warnekros in der Intensität bis zur Hautmaximaldosis ging — Blasenbildung —, überschritten wir die einfache Hautdosis höchstens in Ausnahmefällen (dicke Frauen).

Trotzdem haben wir bei längerer Beobachtung unseres Materials an dieser Methode nicht festhalten können, weil die Schädigungen des Allgemeinbefindens doch erheblich waren. Es kam hinzu, daß wir uns nicht mit der einmaligen Bestrahlungsserie begnügten, sondern nach etwa 3 Monaten eine 2. Serie und oftmals — nach 5 bis 6 Monaten — noch eine 3. Serie anschlossen. Diese 2- und 3malige Bestrahlung hat sich bezüglich des Dauererfolges gut bewährt (von vorläufig Geheilten wurden 5% durch einmalige Bestrahlung, 84% durch 2- und 3malige Bestrahlung von ihrem Karzinom befreit), doch wuchs die Gefahr der Schädigungen um so mehr, je öfter die Haut mit der H.E.D. belastet wurde. Erschwerend fiel dabei ins Gewicht, daß wir aus äußeren Grün-

[1]) Nach den Messungen von Martius (l. c. S. 568) ist das vielleicht nur bedingt richtig, da für die Berliner Frauenklinik die H.E.D. (neuerdings!) mit 820 R angegeben wird und wir selbst gegen 1000 R gemessen haben Nach der Hautreaktion zu urteilen, hat aber Berlin früher wohl höher dosiert (s. S. 637).

den kaum je einmal die 2. und 3. Bestrahlung mit Radium kombinieren konnten, so daß die Erreichung der notwendigen Dosis in der Mitte des Beckens mit erheblichen Dosierungsschwierigkeiten und selbstverständlich auch mit Gefahren verbunden war.

Seit einigen Monaten sind wir deshalb zu einer kombinierten Mittel- und Großfeldbestrahlung übergegangen, deren Anwendung und Einstellung durch mein mit Schaarschmidt zusammen konstruiertes Bestrahlungsgerät (s. S. 624) besonders erleichtert wird. Es werden gegeben

4 Felder vom Bauch mit je 10 × 10 cm Flächeninhalt und 30 cm Fokushautabstand
1 Feld „ Rücken „ 18 × 18 „ „ „ 30 „ „

Die vorderen Felder werden mit ca. 90% der H.E.D. dosiert, auf das hintere Feld geben wir 50—60%, je nach der Dicke der Patientin.

Die Durchstrahlung des ganzen Beckens ist zweifellos gut. Das Rückenfeld bekommt, um die Strahlenausbreitung noch etwas zu verbessern, evtl. eine kegelförmige Paraffinauflagerung, wie ich sie anderen Ortes beschrieben habe[1]). Es wird damit erreicht, daß selbst in größerer Tiefe der seitliche Abfall der Intensität im Strahlenkegel vermieden wird, weil die Intensität des Zentralstrahles von Anfang an eine erhebliche Herabminderung erfährt (ca. 15%).

Über unsere Betriebsbedingungen ist folgendes zu sagen: am Intensivreformapparat verwenden wir 180 K.V., 2,5 M.A., 0,5—0,8 Cu + 1 Al., μ = 0,160—0,149, H.E.D. in 70—90 Minuten (= 1100 R); neuerdings 600 R.

Am Radio-Silexapparat 90 K.V. (effektiv), 8,0 M.A., 0,5—0,8 Cu + 1 Al., μ = 0,166—0,156, H.E.D. in 32—48 Minuten (= 100 R); neuerdings 600 R.

Da Meßresultate vom Radio-Silex bisher nur sehr spärlich vorliegen, so möchte ich an dieser Stelle ganz kurz unsere Erfahrungen mitteilen.

Meßresultate am Radio-Silex.

Bei unseren Messungen gingen wir von dem Volumen der durchstrahlten Masse (Gewebe, Wasser) aus und bezogen alle Werte (s. Tabelle 32) auf das Volumen, welches bei 25 cm Fokushautabstand und 2 × 3 cm Feldgröße durchstrahlt wird (= 240 ccm = ¼ Liter).

Tabelle 22. Durchstrahltes Volumen.

F.H.D. cm	Feldgröße 2 × 3 cm	6 × 8 cm	8 × 10 cm	10 × 15 cm	20 × 20 cm
23	1,06	8,5	13,8	26,5	71
25	1	8	13	25	67
30	0,85	6,8	11,0	21,0	57
40	0,75	6,0	9,6	19,0	50
50	0,68	5,5	8,9	17,0	46
60	0,64	5,1	8,3	16,0	43
80	0,59	4,7	7,7	14,8	40
100	0,57	4,5	7,4	14,2	38

Man erkennt hieraus, wie das bestrahlte Volumen mit zunehmendem Abstand abnimmt, was für die Streustrahlung und damit für den Dosenquotienten, aber auch für die Zahl der erlaubten Felder von Wichtigkeit ist; auf ein Volum von 50—60 (= 7a nach Wintz) kann man gehen[2]).

[1]) Röntgenbehandlung der gutartigen Genitalerkrankungen. Keim u. Nemnich, Frankfurt 1924.

[2]) Man erkennt sofort, daß die Dessauer-Warnekrossche Methode, welche 2 Felder von 20 × 20 cm Größe und 2 von ca. 10 × 10 cm Größe gibt, „räumlich" stark überdosiert; sie erreicht ca. 140 (t) Einheiten.

Tabelle 23. Prozentuale Tiefendosen in 10 cm Wasser.

K.V. effektiv	Vol.	25 F.H.D.			30 F.H.D.			50 F.H.D.		
		0,5 Cu	0,8 Cu	1,0 Cu	0,5 Cu	0,8 Cu	1,0 Cu	0,5 Cu	0,8 Cu	1,0 Cu
80	1	16,4	17,5	18,0	17,5	19,0	19,8	21,3	23,2	24,2
	8	25,0	26,4	27,5	26,7	28,3	30,4	32,6	34,5	37,1
	25	29,0	30,4	31,9	31,3	32,9	35,2	38,2	40,1	42,9
	67	32,6	33,9	33,6	35,2	36,6	39,4	42,9	44,6	48,1
90	1	17,0	18,2	18,5	17,9	19,3	20,4	21,8	23,5	24,9
	8	25,8	27,7	29,0	27,5	29,4	32,0	33,6	35,9	39,0
	25	30,3	32,1	34,0	32,3	34,3	37,5	39,4	41,8	45,7
	67	34,0	36,3	37,9	36,3	38,3	41,9	44,2	46,7	51,1
95	1	17,5	18,6	19,1	18,2	19,7	21,2	22,2	24,0	25,8
	8	26,8	29,2	30,5	28,2	30,8	33,7	34,4	37,6	41,1
	25	31,4	34,1	36,0	33,3	36,1	39,7	40,6	44,0	48,4
	67	35,4	38,4	40,7	37,4	40,6	44,9	45,6	49,5	54,7

Unter wechselnden Bedingungen gemessen, ergab sich nun folgendes Bild für die prozentualen Tiefendosen (Tabelle 23). Dabei ist zu bemerken, daß das Phantom, an welchem die Messungen stattfanden, den Körperformen angepaßt war (Holzgefäß mit Wasser gefüllt).

Die Anwendung der Tabellen ergibt sich leicht für die festgelegten Abstände und Volumina. Aber auch die Werte für beliebige Feldgrößen kann man leicht, wenigstens angenähert, ablesen.

Wenn z. B. die prozentuale Tiefendosis eines Feldes von 10 × 10 cm bei 30 cm Fokushautdistanz und 0,8 Cu gesucht wird, so liegt seine Volumgröße etwa zwischen 8 × 10 = 13,0 und 10 × 15 = 25; Mittelzahl ca. 17 oder 18 (genau 17,1) — und seine Dosis (Tabelle 23) bei etwa 30,0.

Messungen an dem Bestrahlungsgerät haben ergeben, daß die Tiefendosis eines der schräg gestellten, nach der Portio hin gerichteten Felder nur ca. 20% beträgt, weil erstens die Strahlen auf das planierte Feld schräg einfallen, zweitens weil der Abstand bis zur Portio nicht 10, sondern ca. 12—12,5 cm (und mehr) beträgt. Dafür konnte aber wieder durch iontoquantimetrische Messungen festgestellt werden, daß überall im Becken — an der Beckenwand und an den iliakalen Drüsen — bei Verabreichung aller 4 Felder mindestens 80% der H.E.D. erreicht werden. Durch das Rückenfeld von 15 × 15 oder 18 × 18 cm Größe (Volumen 25—50) gelingt es mit 50% der H.E.D. bei 30 cm Abstand leicht, 17% in die Tiefe zu bringen. Zusammen mit dem Radium belastet diese Dosis zweifellos das Beckenbindegewebe genügend. Die Volumdosis beträgt ca. 60—75.

Die angegebenen Bestrahlungen werden wiederholt, und zwar nur mit Röntgenstrahlen. Die erste Nachbestrahlung erfolgt nach etwa 6 Wochen. Die Filterung wird bei dieser 2. Bestrahlung in der Regel höher festgesetzt als wie bei der ersten, oft mit 1,3 Cu + 1 Al. Sie ist bisher fast nur am Radio-Silexapparat möglich gewesen wegen der sehr viel kürzeren Erythemzeit, welche bei ihm erzielt werden kann. Eine 2. Wiederholung der Nachbestrahlung findet nicht prinzipiell statt, doch haben wir sie gelegentlich 3 Monate nach der 1. Wiederholung vorgenommen. Die genaue Aufnahme des klinischen Befundes und die Beachtung der Änderung an der Haut entscheiden über die 3. Bestrahlung.

6. Kritik und Ausschau.

Wenn man die Verfahren betrachtet, welche in vorstehendem besprochen worden sind, so kommt man zu dem Schluß, daß in der Technik wirklich noch nicht alles so ist, wie es sein sollte. Wenn es möglich ist, daß zur Behandlung des Kollumkarzinoms 5 Methoden — ungerechnet die unzähligen Modifikationen, welche da und dort geübt

werden in Gebrauch sind, so geht mir Sicherheit daraus hervor, daß die Methode der Karzinombestrahlung noch nicht gefunden ist. Physikalisch, glaube ich, ist die Technik am Ende; biologisch aber hat sie noch viel zu lernen. Wenn wir auch hier nicht auf Einzelheiten eingehen können, so geht doch allein aus dem Wechsel der Methoden hervor, daß einige Forderungen prinzipiell aufzustellen sind, andere, deren Prinzip bisher mehr oder minder anerkannt waren, vernachlässigt werden können.

1. Jede Methode sei eingreifend, aber schonend. Schwache Dosierung erreicht bei der Röntgenbestrahlung zweifellos nichts, zu große Raumdosis schädigt aber unbedingt den Erfolg. Ich bin nicht davon überzeugt, daß die Opitzsche Methode trotz gewisser Vorzüge, die sie hat, auf die Dauer befriedigen wird (Volumdosis!). Ich kenne sehr wohl die Fälle mit glänzendem Primärerfolg nach relativ kleinen Dosen, vielleicht durch Arsen oder Salvarsan unterstützt, aber wie die Dauererfolge sein werden, danach darf man nicht fragen. Gewiß werden mir manche Autoren — auch Opitz — entgegenhalten, daß die Krebskrankheit bisweilen eine allgemeine Erkrankung sei, die auch dann wieder zum Ausbruch komme, wenn das lokale Leiden geheilt sei. Aber de facto fehlt einer solchen Behauptung noch der wissenschaftliche Beweis. Nach wie vor müssen wir daran festhalten, daß allgemein konstitutionelle Merkmale für die Karzinomkrankheit nicht bekannt sind, daß der Krebs vielmehr ein lokales Leiden aus lokaler Ursache ist (Lahm).

2. Der Begriff der Karzinomdosis mit 100 oder 110% ist zu streichen. Schon 1920 habe ich gelegentlich des Kehrerschen Referates auf dem Gynäkologenkongreß in Berlin darauf hingewiesen, daß die Karzinomdosis für Radium in enormen Grenzen — Seitz sagte damals zwischen 33 und 660% (!) der H.E.D. — schwankt. Jetzt haben es Sippel und Jäckel in ganz nüchternen Worten ausgesprochen, daß man 4 Stufen der Empfindlichkeit unterscheiden muß:

a) Tumoren hoher Sensibilität, welche auf $^1/_2$—$^3/_4$ Erythemdosis reagieren;

b) solche mittlerer Sensibilität, welche schon auf eine Strahlenmenge ansprechen, die der Erythemdosis entspricht;

c) Geschwülste von geringer Sensibilität, welche sich noch durch hohe von $1^1/_2$ und mehr Erythemdosen beeinflussen lassen;

d) Tumoren mit völlig refraktärem Verhalten.

Angesichts solcher Beobachtungen kann an der einheitlichen Karzinomdosis nicht mehr festgehalten werden. Ja, es ist sogar zweifelhaft, ob die Dosisstufe im Sinne von Holzknecht beim Karzinom eine Berechtigung behalten wird. Und trotzdem betone ich: Jede Karzinombestrahlung, welche **unter** der erlaubten Dosis, **unter** der Toleranzdosis des Gewebes bleibt, ist verfehlt. Zwar darf die Einzelbestrahlung auf ca. 60—70% der H.E.D. sehr wohl herabgesetzt werden, aber nur wenn dabei ausdrücklich vermerkt ist, daß dies einen Anfang bedeutet, der ohne Fortsetzung ein Nichts bedeutet (H.E.D. mit ca. 800—1000 R angenommen!).

3. Die Karzinombestrahlung **allein** ist ein Versuch mit untauglichen Mitteln. Sie ist vielmehr als ein Teil vom Ganzen zu betrachten und muß mit einer wohlüberlegten Vor- und Nachbehandlung vereinigt werden. Ich habe seinerzeit darauf hingewiesen und habe auch in der Einleitung davon gesprochen, daß es sehr wertvoll für die Strahlenbehandlung des Karzinoms ist, wenn wir die Vorgänge der Spontanheilung genau verfolgen. In diesem Sinne sind die Untersuchungen von Caspari, Opitz, Theilhaber, Hätten u. a. sehr zu begrüßen. Ebenso muß bis zur äußersten Konsequenz jeder Weg verfolgt werden, der sich uns durch therapeutische Erfahrungen oder durch Zufall eröffnet.

4. Die extrem-exakten (dabei ist es sehr fraglich, ob der Ausdruck „exakt" überhaupt erlaubt ist) physikalischen Methoden und Überlegungen schalten aus der Therapie des Kollumkarzinoms aus. Mag auch immer noch da und dort die Behauptung aufgestellt werden (Rahm), daß erst die exakte homogene Durchstrahlung des Gewebes uns das letzte Wort zur Strahlenempfindlichkeit in den Mund geben wird, so ist darauf hinzuweisen, daß wir durch genügende Erfahrungen auf dem Experimentiertisch und durch traurige Resultate unserer Karzinomstatistik über die Empfindlichkeit des Karzinoms auf der einen Seite und den Wert der extremen Homogenbestrahlung auf der anderen Seite völlig ausreichend orientiert sind. Hier kann die ärztliche Kunst nicht um der reinen Wissenschaft willen zu Tode gehetzt werden.

Anhang.

Die postoperative Nachbestrahlung und die kombinierte Radium-Röntgenbehandlung.

A.

Als postoperative Nachbestrahlung oder auch als prophylaktische Nachbestrahlung bezeichnet man die Anwendung der Aktinotherapie als Adjuvans der operativen Karzinombehandlung. Die Operation wird also und soll auch so durchgeführt werden, als ob sie allein die Heilung des Karzinoms erzielen sollte. Sie braucht zwar nicht in so radikaler Weise vorgenommen zu werden, daß die Operationsmortalität ansteigt, aber es soll nicht der Wirkung der nachfolgenden Bestrahlung gar zuviel überlassen werden (H. Meyer).

Als Mittel für die prophylaktische Nachbestrahlung kommen in Frage das Radium (Mesothorium, Emanation) und die Röntgenstrahlen.

Die Anwendung des Radiums bringt erhebliche Gefahren mit sich, weil durch die Entfernung des Uterus Blase und Mastdarm dem eingelegten Radiumpräparat fast schutzlos preisgegeben sind. Das hat natürlich mit der Wirkung der Radiumstrahlen an sich nichts zu tun, welche zweifellos von ausgezeichneter Wirkung auch bei der postoperativen Bestrahlung sind. Besonders Adler verfügt in dieser Hinsicht über größere Erfahrungen. Er hat ursprünglich etwa 40—50 mg Radiumelement 12 Stunden lang in den vaginalen Blindsack eingelegt und dabei beobachtet, daß die Dauerheilungsziffer von 42 auf 54,5% anstieg. Erkauft wurden diese Erfolge allerdings durch eine beträchtliche Anzahl von Fisteln, an welchen einige der Frauen, ohne daß ein Karzinomrezidiv eingetreten war, zugrunde gingen. Adler hat deshalb, nachdem er die Dosis vorübergehen vermindert hatte, das Radium nicht mehr in den vaginalen Blindsack, sondern, sofort an die Operation anschließend, in die Parametrien nahe der seitlichen Beckenwand eingelegt. Das einzige Organ, das bei dieser Methode einer besonderen Schonung bedurfte, war der Ureter, welcher leicht durch Gaze abgedrängt und geschützt werden kann. Auch Warnekros, Benthin und Döderlein haben vorübergehend das Radium zur postoperativen Bestrahlung verwendet, sie sind aber alle wegen der Gefahr der Fistelbildung davon abgekommen.

Bei der Anwendung der Röntgenstrahlen im Sinne der prophylaktischen Nachbestrahlung sind eine ganze Reihe von Fragen zu beantworten, welche für die Technik und Dosierung von Wichtigkeit sind. Als 1. Frage tritt an uns heran, wann die Nachbestrahlung einsetzen soll. Darüber gibt es keine bestimmt festgelegten Richtlinien, und zahlreiche Autoren haben diese Frage in ihren Arbeiten entweder gar nicht erwähnt oder als mehr oder minder nebensächliche Angelegenheit behandelt. Adler legt, wie

wir bereits gehört haben, das Radium unmittelbar nach der Operation ein; Strauß und H. Meyer sind ebenso für möglichste sofortige Nachbestrahlung nach der Operation. Selbstverständlich vergehen in der Regel 12—15 Tage, ehe die Bestrahlung aus äußeren und technischen Gründen vorgenommen werden kann. Auch glaube ich nicht, daß ein Zuwarten bis etwa zur 3. oder gar 4. Woche bezüglich der Resultate einen Nachteil wird erkennen lassen. Winter führt seine Fälle 3 Wochen nach der Operation der Bestrahlung zu. Zacherl-Lundwall beginnen 6—8 Wochen nach der Operation mit der Bestrahlung, doch führen sie dieselbe etwa 5 Jahre lang (!) hindurch fort. Warnekros gibt keine bestimmten Angaben, er bestellt offenbar die Patienten nach der Entlassung wieder und bestrahlt, sobald sie erscheinen. Das Wiederkommen hängt sehr oft mit der völligen Erholung der Patienten zusammen, und nicht selten wird es sein, daß die Erholung nach der Operation so gut ist, daß die Frauen das Wiederkommen vergessen, bis das Rezidiv sich bemerkbar macht. Es scheint also dringend empfehlenswert, die (erste) prophylaktische Nachbestrahlung noch während des Klinikaufenthaltes vorzunehmen.

Die 2. Frage, welche bei der postoperativen Bestrahlung beantwortet werden muß, ist die der Röntgentechnik. Einen scharf abgegrenzten Tumor, auf den die Strahlenbündel zu richten wären, besitzen wir nicht mehr, wir können nur theoretisch von der Vorstellung ausgehen, daß die gefährdetste Stelle für das Rezidiv die vaginale Narbe und vielleicht das vaginale Lymphgefäßsystem ist. Anderseits muß aber stets damit gerechnet werden, daß auch die Lymphdrüsen am Beckenrande bereits karzinomatös erkrankt sind. Es scheint unter dieser Voraussetzung die extrem homogene Durchstrahlung des Beckens, wie sie von Warnekros und Dessauer durchgeführt worden ist, die Methode der Wahl zu sein. Wenn wir aber anderseits berücksichtigen, daß die Schädigungen des Gesamtorganismus durch die ungeheure Menge der absorbierten Strahlung gerade bei der Dessauer-Warnekros-Methode schädliche Folgen haben kann, so werden wir doch einer anderen Methode den Vorzug geben. In erster Linie kommt hier wiederum die Seitz-Wintzsche Methode in Frage, welche mit ihrer Konzentrierung auf den Scheidenstumpf während der ersten Serie und mit ihrer Wiederholung der Beckendurchstrahlung in zwei weiteren Serien außerordentliche Vorzüge in Bezug auf schonende und doch eingreifende Behandlung besitzt. Selbstverständlich können auch Großfeldermethoden, wie sie v. Jaschke und Siegel oder Martius angegeben haben. Verwendung finden. Ich selbst habe in meiner Methode der postoperativen Nachbestrahlung gewechselt oder wechsele sogar während der einzelnen Serien. Das eine, glaube ich, muß scharf betont werden, daß die postoperative Nachbestrahlung nicht eine einzeitige sein soll, sondern serienweise zu erfolgen hat. Dann kann man sehr wohl in der ersten Serie eine Zweifeldermethode anwenden, in der 2. und 3. Serie aber mit größeren Bauch- und Rückenfeldern bestrahlen. In neuerer Zeit habe ich wiederholt die prophylaktische Nachbestrahlung im Interesse der homogenen Durchstrahlung des Beckens so vorgenommen, daß 2 Bauchfelder von je 10 × 20 cm Größe längs auf den Bauch angeordnet wurden (links und rechts von der Operationsnarbe), während 2 Rückenfelder quer eingelegt wurden (Abb. 47). Die Bauch- und Rückenfelder überkreuzen sich also gewissermaßen, was für die gleichmäßige Durchstrahlung des Beckens sicher ein Vorzug ist. Bezüglich der Dosis (auf welche wir gleich noch eingehen werden) genügen die 4 Felder stets, wenn die Patientin nicht über 20 cm dick ist; ist sie stärker, muß man ein Vulvafeld zur Hilfe nehmen.

Wie stark soll die Dosierung sein? lautet die dritte und letzte Frage. Die ersten Erfolge der postoperativen Nachbestrahlung wurden erzielt zu einer Zeit, als die Röntgentechnik noch recht in ihren Anfängen stand. Es kann also keine Rede davon sein, daß

zu dieser Zeit eine Intensivbestrahlung stattgefunden hat. Wenn somit Gauß und Warnekros über Erfolge der prophylaktischen Bestrahlung aus den Jahren 1911–1914 berichten, so ist es außerordentlich schwer, sich eine Vorstellung von den verabreichten Dosen zu machen. Es kommt hinzu, daß die Beobachtungen beim Mammakarzinom durch die Chirurgen dafür sprechen, daß nicht die (extreme) Intensivbestrahlung, sondern die verzettelte Bestrahlung mit schwächeren Dosen für den Heilerfolg wertvoller ist. Mit theoretischen Gründen ist dieser Anschauung schwer beizukommen, wie denn überhaupt die Frage der Rezidivbehandlung durch die Bestrahlung alles weniger als geklärt ist. Wir wissen heute kaum etwas über die Rezidivgenese nach der Karzinomoperation. Teilweise glaubt man, daß es Karzinomzellen sind, welche sich in dem Granulationsgewebe der Narbe festsetzen (Blumental). Auch hat man die Anschauung vertreten, daß Bezirke in der Nachbarschaft des ursprünglichen Karzinomsitzes schon zur Zeit der Operation präkanzeröse Veränderungen aufgewiesen hätten, welche nun Ausgangspunkt für das neu sich entwickelnde Karzinom würden. Und endlich ist behauptet worden, daß in vielen Fällen die lokale Krebserkrankung nur der Ausdruck einer allgemeinen Disposition sei, die auch dann noch zur Wirkung komme, wenn der Karzinomherd durch

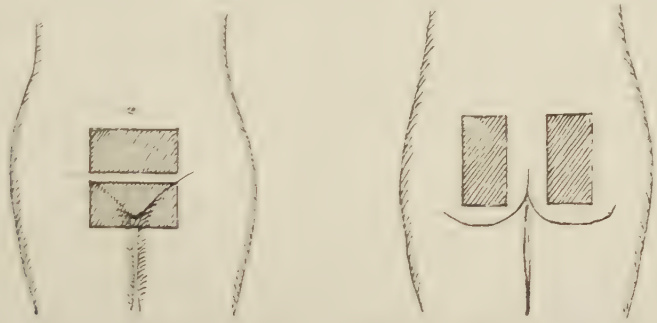


Abb. 47. Postoperative Nachbestrahlung. Gekreuzte Bauch- und Rückenfelder (Lahm).

die Operation entfernt sei. Über den Wert einer Hypothese sind diese Anschauungen bisher nicht herausgekommen, und es lohnte sich sowohl hier experimentell als auch am überlebenden Gewebe der Rezidivbildung besonders nachzugehen. Solange wir über die Genese der Rezidive nichts Genaueres wissen, müssen wir aber für die postoperative Bestrahlung die volle Karzinomdosis zur Anwendung bringen, ein Standpunkt, den ich mit Wintz, Seitz, Giesecke, Warnekros und Martius teile. Noch einmal mag dabei betont werden, daß es nicht die einzeitige Bestrahlung ist, welche ich empfehlen möchte, sondern die serienweise Bestrahlung. Im übrigen gilt alles das, was wir früher über die Röntgenbestrahlung des Kollumkarzinoms ausgeführt haben. Die Dosis darf im Becken an keiner Stelle die Toleranzdosis des Gewebes überschreiten und soll auch so angelegt sein, daß die Raumdosis innerhalb erlaubter Grenzen bleibt. Den Standpunkt von Strauß und Zacherl, wonach nur etwa $^2/_3$ der sonst üblichen Dosis gegeben werden soll, kann ich nicht teilen. Zacherl bestrahlt ja 5 Jahre lang (!) — anfänglich mit 2-, später mit 3- und zuletzt mit 6monatigen Pausen — und verabreicht dabei Dosen, die weit über die hinausgehen, welche wir bisher angewendet haben; und Strauß stützt sich bei seiner Angabe der $^2/_3$ H.E.D. offenbar auf Anschütz, der seine Dosen aber nur geschätzt hat, was vielleicht doch zu erheblichen Fehlern geführt haben könnte (H. Meyer).

Was nun die Erfolge der postoperativen Nachbestrahlung betrifft, so sind sie mit großer Kritik und Zurückhaltung zu beurteilen. Gauß hat seinerzeit berichtet, daß er

64 Fälle prophylaktisch nach der Operation bestrahlt habe, davon 43 Fälle mit ungefilterter Strahlung! Von diesen 43 Frauen sind 24 an Karzinom gestorben, von den übrigen konnte eine Nachricht nicht erlangt werden. Von den 21 Fällen, welche mit gefilterter Strahlung behandelt worden waren, sind 20 nachweislich rezidivfrei geblieben. Die Beobachtungszeit beträgt in 7 Fällen weniger als 1 Jahr, in 13 Fällen $1^1/_2$—5 Jahre.

Warnekros hat 64 Frauen prophylaktisch nachbestrahlt. Davon sind nach 5 Jahren noch 46 am Leben = 72% Heilungen. Von 126 in der gleichen Weise operierten, aber nicht nachbestrahlten Frauen sind nur 45 noch am Leben und gesund. Heilungsziffer 36%. Von den durch prophylaktische Bestrahlung geheilten Frauen kann Warnekros mitteilen, daß 10mal die Parametrien ergriffen waren und 4mal eine karzinomatöse Metastasierung nach den Lymphdrüsen stattgefunden hatte.

Wie schon Winter betont hat, stammt das Warnekrossche Material vorwiegend aus den Jahren 1911—1913, wo von einer Tiefenwirkung der Strahlen im Sinne der modernen Tiefenwirkung kaum die Rede sein kann; gar nicht zu reden von den Fällen, welche Gauß publiziert hat. Damit soll natürlich nicht der Wert der prophylaktischen Nachbestrahlung bestritten werden, doch kann man aus den Angaben der beiden Autoren keine Schlüsse ziehen, welche mit genügender Sicherheit auf unsere jetzigen Maßnahmen zu übertragen sind.

Adler konnte 1920 auf dem Gynäkologenkongreß über ein sehr beachtliches Material berichten. Er hat seine Nachbestrahlungen, wie bereits erwähnt, mit Radium durchgeführt, was uns zugleich die Sicherheit gibt, daß wirklich eine Tiefendosierung stattgefunden hat. Es ist nun besonders interessant zu beobachten, daß die Resultate in dem Augenblick anfingen schlechter zu werden, als er die Radiumdosis so verminderte, daß die Gefahr der Fistelbildung ausgeschaltet wurde, daß aber die gleichen guten Resultate wie anfangs zu erzielen waren, als die Bestrahlung von den Parametrien aus wieder mit höheren Dosen einsetzte. Betrachten wir nur die Fälle, welche Adler 4—6 Jahre lang beobachtet hat, so ergibt sich folgendes Resultat:

Heilungen mit prophylaktischer Nachbestrahlung 47%,
„ ohne „ „ 43%.

Der Unterschied in beiden Reihen ist nicht sehr auffallend. Wenn wir aber bedenken, daß Adler eine Zeitlang schwächer dosiert hat und dabei seine Heilungsziffer von 54,5 auf 42,3% absank, während die operativen Dauerheilungen stets auf 42—44% stehenblieben, so gewinnen wir einen ganz anderen Eindruck. In der Tat beträgt die Dauerheilung mit prophylaktischer Nachbestrahlung in den ersten Fällen (stark dosiert) nach 6 Jahren noch 54,5%, wobei der Statistik 33 Fälle zugrunde liegen. Auch Steiger, Benthin und Sippel-Jäckel haben über ähnlich günstige Resultate der postoperativen Nachbestrahlung berichtet, welche beim Uteruskarzinom leider bisher noch nicht in der wünschenswerten Weise Allgemeingut der Röntgenologen bzw. der Gynäkologen geworden ist (Strauß). Die Chirurgie hat bekanntlich von der prophylaktischen Nachbestrahlung beim Mammakarzinom sehr ausgiebigen Gebrauch gemacht, und wenn auch eine ganze Reihe gewichtiger Stimmen gegen die Zusatzbehandlung mit Röntgenstrahlen laut geworden sind (Perthes), so steht doch durch die Untersuchungen von Anschütz-Hellmann und H. Meyer fest, daß bei geeigneter Technik und Dosierung bei den gut operablen Fällen (Steinthal Gruppe I) die Bestrahlung nichts schadet und daß bei den prognostisch ungünstigeren Fällen (Steinthal Gruppe II und III) die Zahl der Heilungen von 35 bzw. 12,5% auf 57 und 33% gesteigert werden kann (H. Meyer).

So müssen wir betreffs der postoperativen Nachbestrahlung zu dem Schlusse kommen, daß sie ein sehr wertvoller Zusatz zu unserer operativen Tätigkeit ist, weil sie bei ihrer Anwendung die operativen Resultate sicher nicht verschlechtert, in vielen Fällen aber eine ganz wesentliche Steigerung der Heilungsziffern mit sich bringt. Welche Art von Operation der prophylaktischen Nachbestrahlung vorangehen soll, ist eine Frage, die außerhalb des Rahmens unserer Betrachtungen liegt. Doch mag darauf hingewiesen sein, daß bezüglich der Rezidivbildung die einfache Totalexstirpation der Freund-Wertheimschen nicht wesentlich nachsteht (Halban). Es würde deshalb noch nicht als ein Vorzug der postoperativen Nachbestrahlung aufzufassen sein, wenn durch dieselbe die Heilungsziffer der vaginalen Totalexstirpation mit derjenigen der abdominalen nach Freund-Wertheim gleichstünde (Benthin).

B.

Die kombinierte Radium-Röntgenbehandlung ist hervorgegangen aus der einfachen Radiumbehandlung und hat sich zum Ziele gesetzt, die ungenügende Tiefenwirkung der radioaktiven Substanz besonders nach den seitlichen Abschnitten des Beckens zu ergänzen. Neuerdings wird die kombinierte Behandlung gelegentlich auch angewendet, um die unvollkommene Tiefenwirkung der Röntgenstrahlung zu komplettieren. Grundlegend bei dieser Art der Bestrahlung bleibt aber eigentlich stets die Radiumwirkung, selbst wenn aus äußeren Gründen (Infektion, Fieber, Blutungen usw.) die Radiumdosis nur sehr gering ausfiel und die Röntgendosis entsprechend groß gewählt werden mußte. Danach muß man jede Therapie als kombinierte bezeichnen, bei der Radium überhaupt zur Anwendung kommt, doch sollte man sich stets bewußt bleiben, daß die „echte" kombinierte Radium-Röntgenbehandlung den Vorrang des Radiums zur Voraussetzung hat.

Die kombinierte Radium-Röntgentherapie hat mit den selbständigen Methoden die physikalischen und biologischen Grundlagen gemeinsam. Trotzdem muß ich betonen, daß noch enorme Lücken in beiderlei Hinsicht klaffen. Weder die Messung noch die biologische Eichung der Radiumpräparate ist einfach, ganz zu schweigen von der Bedeutung der gemischten Einwirkung beider Strahlen. Wir brauchen nur an das Erythem der Haut zu denken. Höchste Unsicherheit schon bei der alleinigen Anwendung des Radiums, Fehlen jeglicher Angaben über die gemeinsame Wirkung beider Strahlenarten. Opitz-Friedrich haben seinerzeit angegeben, daß die Erythemdosis (T.D.) für Radium und Röntgenstrahlen gleichermaßen 300 e betrage und daß 1 e = 7 Milligrammradiumelementstunden (mgeh) entspreche. Prüft man ihre Angaben nach, so stellt sich heraus, daß ein Radiumpräparat von 30 mg Radiumelement, bei einer Filterung mit 1,5 mm Messing und 1,0 mm Zelluloid in 1,5 cm Abstand von der Haut in 70 Stunden ein Erythem ergeben habe = 2100 Milligrammstunden. Die Zahl 7 mgeh = 1 e ist durch einfache Division entstanden (2100:300). Selbstverständlich müssen aber der Abstand und die Größe des Radiumpräparates, die Filterung usw. auch mit in Rechnung gestellt werden, und tut man das, so kommt man zu einem ganz anderen Werte. Nach der Berechnungsmethode, wie ich sie in der Regel durchführe, ergibt sich in dem gedachten Fall eine lokale Radiumelementkonzentration von

$$\frac{2100}{1{,}5^0} = 930 \frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$$

Danach ist 1 e = 3 megh/cm (nach unseren Dresdener Beobachtungen entspricht der H.E.D. I^0 ca. 750 mgeh/cm. Die Dosis, welche Opitz seiner Berechnung zugrunde legte, ist höher, bewirkt aber auch ein Erythem II^0 mit Blasenbildung. Es zeigt sich also

eine weitgehende Übereinstimmung der Werte von Freiburg und Dresden. Nicht geprüft wurde bisher die Wirkung beider Strahlenarten in wechselnder Vermischung, so daß sich die Frage erhebt, ob

150 e Röntgen + 150 e Radium = 1 H.E.D.
100 e „ + 200 e „ = 1 „
50 e „ + 250 e „ = 1 „ usw. ergibt.

Wir nehmen das vorerst allgemein an, sind aber nicht in der Lage, es bestimmt behaupten zu können.

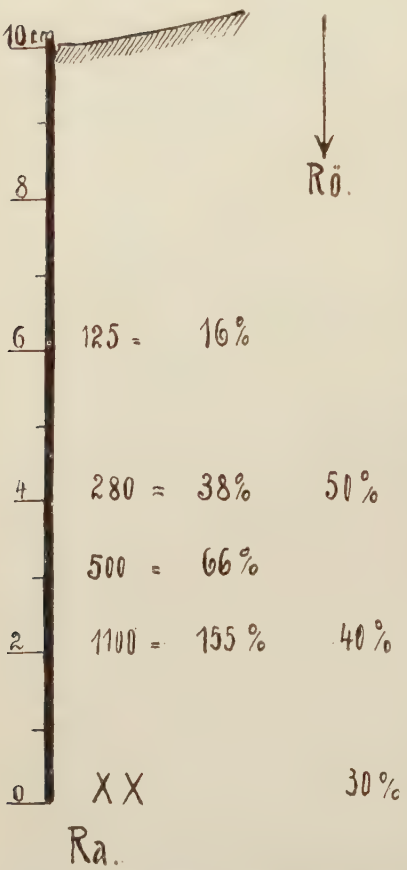


Abb. 48: Kombination Radium-Röntgen. Links Radiumdosen, rechts Röntgendosen (H.E.D. noch 1000 R).

Opitz führt nun die kombinierte Bestrahlung in der Weise durch, daß er Radium vorher oder nachher legt und die Bestrahlung mit Röntgenstrahlen nachfolgen oder vorangehen läßt. Er legt dabei ein Schema der Radiumdosen in den Sagittalschnitt eines Beckens ein und addiert die Strahlenwirkung des Röntgenlichtes so lange dazu, bis in der Gegend des Mastdarms, der Blase und des Ureters, also ca. $2-2^1/_2$ cm vom Zervikalkanal entfernt 300 e erreicht sind. In der Regel verabreicht er mit Röntgen 150 e von 2 Großfeldern aus (= 60% seiner H.E.D. II⁰) und 2000 bis 5000 Milligrammstundenradiumelement. Vergegenwärtigt man sich seine Werte nach unserer Methode, so findet man bei der Verabreichung von 5000 Milligrammstunden in $2^1/_2$ cm Abstand vom Zervikalkanal $800 \frac{\text{mgeh}}{\text{cm}} = 90\%$ der H.E.D. II⁰. Zusammen mit der Röntgenenergie würde dadurch eine Dosis von ca. 150% der H.E.D. II⁰: erreicht werden. Dieses aber ist auch das äußerste Maximum, welches Opitz zur Anwendung bringt. Bei geringerer Radiumdosis, wie sie wohl bei geringerer Ausdehnung des Karzinoms gebraucht wird, beträgt die Dosis in 2 cm Abstand vom Zervikalkanal nur $\frac{2000}{4} = 500 \frac{\text{mgeh}}{\text{cm}} = 55\%$ der H.E.D. II⁰:, was zusammen mit der Röntgenenergie also 300 bis 320 e ergibt (= 100% der H.E.D.).

Wir selbst bestrahlen in Dresden in ganz ähnlicher Weise, nur daß wir das Radium prinzipiell zuerst anwenden, weil die volle Dosierung des Radiums doch durch Zwischenfälle unterbrochen werden kann, wobei es möglich ist, durch entsprechende Dosierung mit dem Röntgenapparat einen Ausgleich in der Gesamtdosis zu schaffen. Wir berechnen die Radiumdosen erstens nach mgeh/cm, zweitens in Prozent der H.E.D. Die Überschlagsrechnung vollzieht sich in folgender Weise. Nehmen wir einmal an, die Patientin sei 20 cm dick (dorso-posteriorer Durchmesser) und habe bei einem Karzinom der Gruppe II—III 4500 Milligrammstunden Radium erhalten. Wir legen uns dann ein Schema an, wie es der nebenstehenden Abbildung entspricht (Abb. 48). Die Mitte des Zervikalkanals ist mit 0 bezeichnet und erhält eine Radiumdosis, die wir in Zahlenwerten nicht angeben, sondern nur durch Kreuze (× ×) bezeichnen.

In 2 cm Abstand beträgt die Dosis $\frac{4500}{4} = 1100 \frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ = 155% der H.E.D. (245%)[1])

„ 3 „ „ „ „ „ $\frac{4500}{9}$ = 500 „ = 66% „ „ (110%)

„ 4 „ „ „ „ „ $\frac{4500}{16}$ = 280 „ = 38% „ „ (63%)

„ 5 „ „ „ „ „ $\frac{4500}{25}$ = 180 „ = 24% „ „ (40%)

Dazu kommt dann die Röntgenbestrahlung, welche wir in der früher angegebenen Weise mit 4 Feldern vom Bauch und einem Großfeld vom Rücken ansetzen. Gelegentlich verabreichen wir auch, wie es Opitz und Friedrich tun, 2 Großfelder vom Bauch und Rücken unter Vorschaltung eines Paraffinkegels bei einer Filterung von 0,5—1,3 Kupfer. Fokushautabstand 30 cm.

Die extrem harte Filterung von 1,3 mm Kupfer hat sich mir in einigen verzweifelten Fällen so gut bewährt, daß ich sie bei ähnlich gelagerten Krankheitsbildern teilweise noch beibehalten habe. Die Erythemzeit beträgt am Radio-Silex dabei 48 Minuten (23 cm Fokushautabstand).

Die späteren Bestrahlungen — wir bestrahlen stets in Serien — werden nach 2 bzw. 3 Monaten ausgeführt, wobei nur Röntgenstrahlen zur Anwendung kommen. Die Dosis in der Tiefe des Beckens wird auf ca. 80—100% der H.E.D. gebracht. Oberflächendosis pro Feld ist in der Regel nicht mehr als 80—85% der H.E.D. Handelt es sich um ein erkennbares Rezidiv, so wird auf alle Fälle die Mehrfeldermethode angewendet. Steht das Rezidiv nicht fest, so bestrahlen wir meist in Großfeldern.

Die Radiumdosierung, welche der Röntgenbehandlung der 1. Serie vorangeht, geschieht nach unseren Erfahrungen mit der alleinigen Radiumbehandlung, doch soll sie niemals über 5000 Milligrammstunden gesteigert werden. Im allgemeinen dürfen wir folgendes Schema aufstellen:

Gruppe I erhält ca. 1500—2000 Milligrammstunden
„ II „ „ 2500—3500 „
„ III „ „ 4000—5000 „

Die Röntgenbehandlung wird in der Regel unmittelbar an die Radiumbehandlung angeschlossen. Die Frauen werden vor der Röntgenbehandlung nicht aus dem Hause entlassen. Nur in einzelnen Fällen verschiebt sich die Nachbestrahlung mit Röntgen um 6—8 Wochen, in der Regel dann, wenn die Frauen das Radium sehr gut vertragen haben und in der Dosis mehr erhalten haben, als der Gruppeneinteilung des Karzinoms entspricht[2]).

Martius, der prinzipiell auch die kombinierte Radium-Röntgenbehandlung verwendet, bestrahlt zum Teil in kombinierten Serien, was ich für einen besonderen Vorzug halte. Die Bestrahlung fängt mit Radium an, dann erfolgt der Röntgenzusatz, die 2. und 3. Serie werden mit Radium beendet. Von seiner Behandlung kann man folgendes Schema aufstellen:

---

[1]) Die Zahlen in Klammern bedeuten die Erythemdosis bei Annahme der mittleren „Gebrauchsdosis“ von Martius (H.E.D. = 600 R).

[2]) Unter der Annahme der „Gebrauchserythemdosis“ (Martius) werden sich die Dosen nicht viel ändern, nur sind die Prozente der Erythemdosen anders anzusetzen (s. oben); auch kann die Röntgendosierung entsprechend vermindert werden.

1. Serie A: Radiumbestrahlung (kurzes Präparat) 40—50 mg 50 Stunden,
B: Röntgenbehandlung (sofort anschließend),
10 Tage Pause.

2. Serie A: Radiumbestrahlung (langes Präparat) 40—45 mg 72 Stunden,
B: Röntgenbestrahlung nach Wahl.
Pause etwa 6 Wochen.

3. Serie A: Radiumbestrahlung von der Vagina aus, 40—50 mg 24—48 Stunden.

Bei der ersten Serie verwendet Martius in der Regel das Radium in Form eines konzentrierten Präparates oder er legt mehrere kurze Tuben in einen Träger zusammen. Die Bestrahlung geschieht vom Karzinomtrichter oder von der Scheide aus. Im letzteren Falle muß für einen genügenden Abstand von Blase und Rektum durch Tamponade gesorgt werden. Die Dosierung beträgt rund 2000 Milligrammstunden. Die Röntgenbestrahlung wird bis zum vollen Werte der 100—110% der H.E.D. durchgeführt.

In der 2. Serie legt Martius das Radiumpräparat in das Cavum uteri und in den Zervikalkanal, indem er die Präparate in einem langen Träger hintereinanderschaltet. Die Dosis beträgt etwa 3000 Milligrammstunden. In vielen Fällen folgt dieser zweiten Serie eine dritte nicht mehr nach. Nur wenn das Karzinom weiter ausgebreitet war, schließt sich die 3. Serie mit etwa 1000 Milligrammstunden an.

Fünftes Kapitel.

Die Folgen und Erfolge der Strahlenbehandlung.

Als Folgen der Strahlenbehandlung treten meist sichtbare und tastbare klinische Besserungen ein, welche mit keinem anderen Mittel auch nur in ähnlicher Weise zu erreichen sind. Prinzipielle Unterschiede bezüglich der Röntgen- und Radiumbehandlung bestehen nicht. Wo Unterschiede hervorgehoben worden sind, waren sie nur quantitativer Art (Seitz-Wintz). Wir betrachten daher die Folgen für Röntgen und Radium gemeinsam, während die Erfolge einer getrennten Betrachtung bedürfen, da sich doch mehr und mehr die Auffassung Bahn bricht, daß das Radium den Röntgenstrahlen in ihrer bisherigen Anwendung erheblich überlegen ist. Als Erfolge der Strahlenbehandlung sehen wir an: den Rückgang des karzinomatösen Gewebes (meist der Tumorbildung), den mikroskopisch nachzuweisenden Zerfall der Karzinomzellen und den Wiederaufbau des Gewebes, der manchmal in einer Weise erfolgt, die geradezu an eine Rekonstruktion erinnert.

1. Der klinische Heilungserfolg.

Nach einer Latenzzeit, die beim Radium meist nur einige Tage, bei der Röntgenbestrahlung mehrere Wochen betragen kann, hören Blutungen und jauchiger Ausfluß in der Regel auf. Der Tumor, welcher an der Portio bestanden hat, schrumpft oder verschwindet ganz. Die Schwellungen im Parametrium gehen zurück und hinterlassen nur eine mehr oder minder derbe strangförmige Narbe. Das zerfallende Ulkus reinigt sich und beginnt sich von der Seite her zu überhäuten. Die Ränder erscheinen dementsprechend glatt, der Ulkusgrund ist von zarten Granulationen bedeckt. Bei der Radiumbestrahlung findet man in der nächsten Umgebung des Muttermundes und des Zervikalkanals einen weißlichen derben Schorf, der sich nur schwer von der Unterlage ablösen läßt. Der klaffende Zervikalkanal schließt sich mehr und mehr, auch der Uterus schwin-

det durch Schrumpfung oft so stark, daß er dem tastenden Finger fast entgeht. Beschwerden von seiten der Blase lassen nach. Wie Sigwart gezeigt hat, verschwindet das bullöse Ödem. Die unerträglichen Schmerzen, die durch Mitbeteiligung der Beckennerven am Entzündungsprozeß zustande kommen, verschwinden in einer Weise, daß man die Strahlung fast als Sedativum bezeichnen kann. Das Allgemeinbefinden bessert sich, nachdem die ersten Katererscheinungen überwunden sind, von der 4. oder 5. Woche an zusehends. Die psychische Einstellung wird vollkommen anders, der Erfolg der Bestrahlung wird von Tag zu Tag deutlicher.

Nicht immer ist das Bild so freundlich gefärbt, wie es nach dieser Beschreibung aussieht. Refraktäre Karzinomfälle, vor allem auch diejenigen der Gruppe IV zeigen einen ganz anderen Verlauf, bei dem nicht am Ende der positive Erfolg, sondern das allmähliche weitere Hinsiechen steht. Die Reinigung des Ulkus bleibt aus, der Tumor zeigt keine erhebliche Schrumpfung, die Parametrien findet man eher stärker entzündet als vorher, der Ausfluß bleibt jauchig. Es können auch Blutungen auftreten von sehr erheblichem Grade. Dementsprechend zeigt auch das Allgemeinbefinden nicht die entschiedene Wendung zum Besseren, welche oben beschrieben wurde.

Und wiederum in anderen Fällen beherrschen unglückliche Komplikationen das Feld und verschlechtern den an sich vielleicht nicht ungünstigen Heilungsverlauf. Die Infektion der Parametrien, des periproktalen Bindegewebes, der Tuben und des Peritoneums steht hier an erster Stelle. Sie ist nicht immer auf unglückliche Zufälle bei der Technik zurückzuführen, obwohl gerade die Radiumbestrahlung Fälle dieser Art am häufigsten zeigt. Selbstverständlich kommen über der Suche nach dem Zervikalkanal, welcher bekanntlich mit dem tiefsten Karzinomkrater nur selten zusammenfällt, Perforationen und Bildung falscher Wege vor. Aber häufiger liegt vielleicht die Ursache für den fieberhaften Verlauf in dem Hinaufpressen von bakterienhaltigem Sekret während der Hegardilatation in das Cavum uteri und in die Tuben. Es kommt hinzu, daß bei der 2. und 3. Einlage des Radiumröhrchens die Sekretion meist erheblich gesteigert ist, so daß ein Hinauftragen von Keimen in höhere Abschnitte des Genitalkanals fast unvermeidbar erscheint. Welche Maßnahmen man getroffen hat, um die Hegardilatation ungefährlicher zu machen (Durchbohrung der Stifte) und um den Ausfluß aus dem Cavum uteri sicherzustellen (Flatausche Hülse), wurde früher schon besprochen. Sehr stark konzentrierte Präparate können im Bereich des Zervikalkanals derartige Reize setzen, daß es zur Atresie kommt. Stauungen des eitrigen, blutigen und serösen Sekretes im Cavum uteri sind die Folge. Je höher man in der Radiumdosierung ging (und heute in einzelnen Fällen vielleicht noch geht), desto mehr trübt sich das Bild, welches die ersten Beobachter des Strahlenerfolges in so große Begeisterung gesetzt hatte.

Bei der Röntgenbestrahlung kommen die schweren eitrigen Prozesse im Uterus sehr viel seltener zur Beobachtung, ein Zeichen dafür, daß die mechanischen Manipulationen, welche bei der Radiumeinlage notwendig sind, mit in erster Linie für ihr Zustandekommen angeschuldigt werden müssen. Trotzdem kann man auch bei der Röntgenbestrahlung eitrige Entzündungen des Beckenbindegewebes (Exsudatbildung) und Pelveoperitonitiden beobachten, wie denn anderseits die mögliche Schädigung des Darmes durch Überdosierung stark in den Vordergrund tritt. Wir haben auf diese und andere Möglichkeiten bereits oben hingewiesen.

Es ist kein Zweifel: die Strahlenbehandlung des Kollumkarzinoms kann zu einem Heilungsverlauf führen, der ans Wunderbare grenzt. Aber jedes Zuviel kann den Erfolg in sein Gegenteil umkehren. Es erscheint deshalb durchaus empfehlenswert, wenn Opitz die Wiederholung der Bestrahlung seiner Fälle davon abhängig macht, ob der erste klinische Verlauf auf weitere Besserung hoffen läßt.

2. Die histologischen Veränderungen des Karzinomzerfalles und des Gewebsaufbaues.

Über die Veränderungen des karzinomatösen Gewebes nach der Bestrahlung liegen zahlreiche Untersuchungen vor. Es kann um so weniger meine Aufgabe sein, auf alle Einzelheiten der Beobachtungen einzugehen, als Prym jüngst in einer großen Monographie vom pathologisch-anatomischen Standpunkt aus über die Wirkung der Röntgenstrahlen berichtet hat. Nur eine kleine Reihe, wie es mir scheint, wichtiger Prozesse soll hier besprochen werden.

Zunächst ist es interessant festzustellen, daß es zweifellos Fälle gibt mit klinisch beachtlichem Erfolg ohne tiefgehende histologische Veränderungen. So hat Robert Meyer im Jahre 1912 über einen Fall aus der Bummschen Klinik berichtet, wo durch vaginale Röntgenbestrahlung nahezu klinische Heilung — jedenfalls so weitgehende Schrumpfung des Karzinoms erzielt worden war, daß der vorher inoperable Fall zur Operation kommen konnte, ohne daß mikroskopisch an den Karzinomzellen selber Einschmelzungsvorgänge festgestellt werden konnten. Nur das Bindegewebe war derb sklerotisch geworden und die Muskulatur des hinteren Genitalabschnittes war zum Teil zerstört. Über ähnliche Befunde hat Geipel berichtet in einem Falle, wo es sich um Metastasen eines Mammakarzinoms in das Mediastinum gehandelt hat (Rostosky).

Die beiden Beobachtungen stehen in der Literatur wohl vereinzelt da, und es ist die Frage, ob nicht entweder das Karzinom im Falle Robert Meyers schon wieder neu gewachsen war oder, ob im Falle Geipels die Strahlendosierung eine ungenügende Intensität erreicht hatte. Jedenfalls überwiegen bei weitem die Beobachtungen degenerativer Veränderungen: sie bewegen sich im allgemeinen in den Bahnen, welche, schon vom Jahre 1902 beginnend, vor allem bei bestrahlten Mammakarzinomen beobachtet worden waren. Ich weise besonders auf die Untersuchungen von Köhler und Herxheimer aus dem Jahre 1904 hin, welche an bestrahlten Mammakarzinomen in sehr genauen Untersuchungen etwa 7 Wochen nach der letzten Radiumbestrahlung Vakuolenbildung an den Zellen und Riesenzellbildung nachweisen konnten. Die Autoren waren der Auffassung, daß die Strahlen zunächst auf das Protoplasma und dann auf den Kern einwirkten. Trotzdem waren sie in der Deutung ihrer Beobachtungen vorsichtig, weil ähnliche spontane Variationen vorkommen. Die Frage, ob die vorgefundenen Struktureigentümlichkeiten in bestrahlten Karzinomen auf den Einfluß der Behandlung zurückzuführen sind, ist bis heute noch nicht klar beantwortet. Jedenfalls können die Karzinomzellen unter der Einwirkung von Wärme und anderen Agenzien ähnliche degenerative Veränderungen erleiden, wie sie nach der Strahlenbehandlung oft beobachtet worden sind.

v. Franqué, dem wir neben Döderlein, Aschoff, Krönig, Gauss, Haendly und Seitz-Wintz, sehr genaue Untersuchungen über das Verhalten des Karzinoms nach der Bestrahlung verdanken, unterscheidet mehrere Stadien, und zwar ein hypertrophisches, ein Kernzerfallsstadium und die Verhornung. Im hypertrophischen Stadium sind die Zellen in der Regel stark vergrößert, ihr Protoplasma ist eiweißarm und zeigt nach der Fixierung evtl. Vakuolenbildung. Ich habe seiner Zeit darauf hingewiesen, daß die Schaumbildung in dem Protoplasma der Zellen und ebenso die Vakuolen bis zu einem gewissen Grade als Kunstprodukte aufzufassen sind, welche durch die Fixierung erst entstehen. Der pathologische Prozeß als solcher ist eine hydropische Schwellung. Ob dies und die weiteren Veränderungen wirklich auf die Einwirkung der Strahlen auf das Protoplasma zurückzuführen sind, mag dahin gestellt bleiben. Ich

selbst bin bisher der Auffassung gewesen, daß der Kern als erstes eine Schädigung erfahre, weil die Funktion des Protoplasma in erster Linie vom Kern in Abhängigkeit steht. Auch die Beobachtungen, welche schon Martiny 1908 gemacht hatte und welche Prym und Aschoff an eigenem Material bestätigen konnten, sprechen dafür, daß der Kern besonders empfindlich ist, wenn er sich in der Mitose befindet. Ja vielleicht noch mehr. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Zelle sich dem Einfluß der Strahlung dadurch zu entziehen versucht, daß sie zu einer Teilung schreitet, woraus wiederum hervorginge, daß der Kern und nicht das Protoplasma zuerst den Einfluß der Strahlung zu spüren bekommt. Anderseits ist es eine häufige Beobachtung, daß in den bestrahlten Karzinomen synzitiale Zellverbände und Riesenzellen auftreten. Sie waren schon von Bornait-Legueule beobachtet worden und sind dann von Aschoff, Krönig, Gauss, Robert Meyer und mir wiederholt gefunden worden. Synzitiale Bildungen entstehen dann, wenn zwar der Kern, aber nicht das Protoplasma die Fähigkeit behalten, sich zu teilen. Ich habe versucht, die Frage der Kern- oder Protoplasmawirkung am biologischen Objekt zu prüfen, und zwar durch Bestrahlung des überlebenden Meerschweinchenuterus. Gelegentlich anderer Untersuchungen mit Hypophysenpräparaten und Ionen der Kalzium- und Kaliumsalze war ich zur Überzeugung gekommen, daß man an den Kurven Protoplasma-Energetika und Karyo-Energetika unterscheiden könne. Ich bin bisher, obwohl Kontraktionen des überlebenden Präparates beobachtet werden konnten, noch nicht zu einem eindeutigen Resultat gekommen, ob der Kern oder das Protoplasma am stärksten auf den Einfluß der strahlenden Substanz reagieren. Daß das mitotische Stadium der Zelle besonders empfindlich zu sein scheint, geht wohl einwandfrei aus den neueren Untersuchungen von Holthusen hervor. Daß der Zellkern schließlich unter dem Einfluß der Strahlen zerfällt, ist seit langem bekannt und sichergestellt. Man kann sogar eine ganze Reihe von Stadien unterscheiden, welche durch die Begriffe der Pyknose, Kariolyse, der Hyperchromatose, der atypischen Mitosenbildung und des Kernkörperchenzerfalles (Lahm) gekennzeichnet sind. Weiterhin beobachtet man atrophische Zellen mit ausgesprochener Chomatophilie, welche Clunet (1908) als eine Ruheform der Karzinomzellen auffaßte. Er sprach geradezu von einer Lethargie der Zellen. Welche Bedeutung ihr zukommt, ob es sich hier um besonders resistente Zellen handelt, ist bis jetzt nicht bekannt. Prym lehnt den Begriff und Vorstellung der Zellethargie ab; ich selbst möchte glauben, daß sie für die Frage der Rezidivbildung eine wesentliche Hilfe bedeuten würde.

Außer den rein zellulären Veränderungen unterscheidet man solche, die zu einem veränderten Aufbau des Karzinomgewebes führen. Ich meine damit die Beobachtungen von Aschoff, Rob. Meyer, Döderlein-Krönig und mir, wo unter dem Einfluß der Röntgen- wie der Radiumbestrahlung (vor allem der letzteren) der Reifegrad der Karzinome eine Änderung erfahren kann. Nicht verhornende mittelreife Karzinome können im Verlauf relativ kurzer Zeit eine ausgedehnte Hornperlenbildung aufweisen. Schon Aschoff hat den Gedanken ausgesprochen, daß hier eine Umbildung der einen Karzinomform in die andere unter Verminderung der Malignität vorliege, und er selber hat den Gedanken so weit gesponnen, daß ich glaube, an den Reifungsformen geradezu den Heilprozeß zu erkennen. Zwar zeichnet nicht alle Karzinome, welche durch die Bestrahlung eine günstige Beeinflussung erfahren haben oder gar geheilt wurden, diese Umbildung aus, doch muß man bedenken, daß wir nur selten Gelegenheit haben, in vielen aufeinanderfolgenden Stadien den Prozeß zu verfolgen.

Mit der Änderung des Karzinomaufbaus geht bisweilen eine starke Eosinophilie in der Umgebung des Karzinoms einher. Aschoff, Krönig, Gauss haben darauf hingewiesen, und Weißhaupt konnte dartun, daß die Genitalkarzinome schon spontan

zu 60% aller Fälle eine lokale Eosinophilie zeigen, während man sonst nur etwa 20% findet. Ich selbst vertrat die Auffassung, daß man aus der stärkeren lokalen Eosinophilie eine gewisse Prognose für den Heilungsverlauf stellen könne, insofern ich statistisch nachwies, daß nahezu die doppelte Anzahl der Fälle mit Eosinophilie dauernd geheilt wurden, als bei Fällen ohne Eosinophilie der Fall ist. Was sonst das Verhalten der Umgebung des Karzinoms betrifft, so besteht eine große Meinungsverschiedenheit darüber, wie sich das Bindegewebe auf eine verschieden dosierte Bestrahlung verhält und welche Rolle es dem Karzinom gegenüber spiele. Auf der einen Seite wird angenommen, daß die Strahlen das Bindegewebe zum Wachstum anregten (Exner), während andere Autoren jede Förderung des Bindegewebswachstums ablehnen und eher dafür eintreten, daß schon ganz geringe Dosen degenerative Veränderungen auch im Bindegewebe erzeugen (Haendly). Mit Recht weist Prym darauf hin, daß die

Tabelle 24. Beobachtung nach zwei Jahren.

| geheilte Fälle, — ungeheilte Fälle.

Radium mgeh	Plattenepithelkarzinome reif	mittel	unreif	Sekundär solide Karz.	Drüsen-Karz.
bis 2000				—	
„ 3000					
„ 4000				—	
„ 5000		—		—	
„ 7000					
„ 9000	—				
„ 11000					
„ 14000	—			—	
„ 17000	—				
„ 20000					
„ 24000					
darüber					
Zusammen	30	80	16	14	4
Geheilt	14	30	4	4	0
Ungeheilt	16	50	12	10	4
Heilungsziffer	46,7%	37,5%	25%	28,5%	0%

Hauptfragestellung der genügenden Klarheit entbehre. Man müsse scharf auseinanderhalten, ob die Röntgenstrahlen auf die Zellen im Sinne einer primären direkten Reizung zum Wachstum oder zur Funktion einwirkten, oder ob eine wachstumsanregende Wirkung nur darin beruhe, daß sie primär eine Schädigung setze. Die Frage ist um so wichtiger, als manche Autoren geneigt sind, dem Einfluß des Bindegewebes an der Heilung des Karzinoms wieder einen sehr großen Einfluß einzuräumen (Opitz). Ich selbst habe mich von jeher der Auffassung von Seitz-Wintz angeschlossen, daß das Bindegewebe wächst und wuchert, als Antwort auf den Zerfall der Karzinomzellen, und daß ihm die Aufgabe zufällt, die leer gewordenen Räume im Gewebe auszufüllen. In der Frage der direkten Erregung des Bindegewebswachstums ist man auch dann nicht weiter gekommen, als man versucht hat, Aufschluß zu gewinnen über die evtl. veränderte Funktion des Gewebes. Bekanntlich haben

Schmidt, Halberstädeter und Wolfsberg mit der Vitalfärbung versucht, die gesteigerte oder herabgeminderte Funktion des Bindegewebes zu beweisen. Doch weist schon Prym darauf hin, daß es heute noch verfrüht ist, aus einer derartigen Reaktion auf eine Funktionsstörung durch Röntgenbestrahlung zu schließen.

Zum Schluß noch ein Wort über den Reifegrad der Kollumkarzinome und ihre Strahlenempfindlichkeit. Es ist im klinischen Teile bereits die Rede davon gewesen, doch möchte ich hier noch nachtragen, daß man sicher nicht aus dem Reifegrad oder dem histologischen Bild allein mit Exaktheit die Strahlenempfindlichkeit des Karzinoms abschätzen kann. Selbst unreife Karzinome können sehr wenig strahlenempfindlich sein, obwohl das rasche Wachstum und der ebenso rasche Zerfall des Gewebes im mikroskopischen Bild deutlich erkennbar ist. Das Bergonnié-Tribondeausche Gesetz gilt nicht ohne Ausnahme. Die Reparationskraft des Körpers im allgemeinsten Sinne des Wortes spielt zweifellos auch eine Rolle. Trotzdem konnten wir bei zahlreichen und mikroskopisch genau kontrollierten Fällen nachweisen, daß die Dosisstufe für die unreifen Karzinome eine weit größere Spannung aufweist, als wir bei mittelreifen und reifen Karzinomen beobachten konnten. Eine kleine Übersicht über unser Material mag die vorstehende Tabelle 24 geben.

Alles in allem dürfen wir im Sinne von Prym das Ergebnis der histologischen Untersuchungen der bestrahlten Karzinome dahin zusammenfassen, daß ihr praktischer Erfolg leider noch gering ist, daß aber aus den Untersuchungen soviel hervorgeht, daß das Ziel unserer Bestrebungen sein muß: Vernichtung der Karzinomzellen unter Schonung des Geschwulstbettes.

3. Der zahlenmäßig nachweisbare Erfolg.

In den folgenden Übersichten soll an Hand der seit 1920 veröffentlichten Statistiken, das Zahlenmaterial gegeben werden, welches unseren Betrachtungen sowohl in dem Kapitel „Operieren oder Bestrahlen" wie in den folgenden Abschnitten zugrunde lag[1]). Auf eine ins einzelne gehende Betrachtung brauchen wir dabei nicht mehr einzugehen. Die Zusammenstellung geschieht in mehr oder minder schematischer Weise und ist erfolgt teilweise in der Form, wie sie die Autoren uns gegeben haben, teilweise sind die Zahlen durch Zusammenziehung der publizierten Fälle gewonnen. Wir betrachten getrennt das Ergebnis der Radium-, der Röntgen- und der kombinierten Radium-Röntgenbestrahlung; auch über die prophylaktische Nachbestrahlung sollen noch einige Zahlenangaben gemacht werden.

A. Für die Radiumbestrahlung.

1920. **Baisch.** 42 Fälle, Beobachtung $4^1/_2$–5 Jahre.
Es leben und sind gesund 7 = 16%
Gruppe I : 3 geheilt 3 = 100%
„ IIa: 12 „ 2 = 10%
„ IIb: 5 „ 1 = 20%
„ III : 21 „ 2 = 20%

Kehrer. 129 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.
Es leben und sind gesund 36 = 27,9%
Gruppe I: 19 geheilt 11 = 58%
„ II: 40 „ 13 = 32%
„ III: 70 „ 12 = 17%

[1]) Es handelt sich fast nur um Dauerresultate.

v. Seuffert.

205 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.

Es leben und sind gesund 40 = 19,5%
Gruppe I: 40 geheilt 17 = 42,5%
„ II: 62 „ 14 = 22,6%
„ III: 63 „ 9 = 14,3%
„ IV: 40 „ 0

Bei völlig gleichbleibender Technik nach den Regeln der Münchener Schule und vollständiger Durchführung der Bestrahlung der Fälle ergibt sich bei 3jähriger Beobachtung 93,5% Heilungen bei 46 Fällen.

Heymann.

66 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.

Es leben und sind gesund 19 = 28,8%
Gruppe I u. II: 4 geheilt 4 = 100%
„ III: 62 „ 15 = 25%

Weinbrenner.

49 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.

Es leben und sind gesund 18 = 36,7%
Gruppe I: 20 geheilt 8 = 40%
„ II: 5 „ 2 = 40%
„ III: 19 „ 8 = 38%
„ IV: 5 „ 0

Dietrich.

44 Fälle, Beobachtung 2—6 Jahre.

Es leben und sind gesund 9 = 20%
Gruppe I: 9 geheilt 5 = 55%
II u. III: 36 „ 4 = 11%

1921. **Adler.**

162 Fälle, Beobachtung 4—7 Jahre.

Es leben und sind gesund 32 = 20%
Gruppe I u. II: 19 geheilt 5 = 25%
„ III: 143 „ 28 = 20%

1923. **Döderlein.**

755 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.

Es leben und sind gesund 103 = 13,2%
Gruppe I: 110 geheilt 48 = 43,6%
„ II: 136 „ 31 = 22%
„ III: 340 „ 23 = 6,7%
„ IV: 169 „ 1

Unter den 755 Fällen Döderleins sind die 205 Fälle von v. Seuffert mitgezählt. Es handelt sich also um eine Fortsetzung der Münchener Statistik. Bei völlig durchgeführter Bestrahlung ergab sich übrigens ein noch wesentlich besseres Resultat.

Gruppe I: 62 geheilt 46 = 73,6%
„ II: 75 „ 31 = 41,2%
„ III: 176 „ 23 = 13,1%

B. Für die Röntgenbestrahlung.

1920. **Gal.**

Seine Beobachtungen betreffen meist Fälle, die nur 1 Jahr zurückliegen, nur 9 Fälle sind seit 3 oder 5 Jahren nachuntersucht.

Giesecke.

Er berichtet über das Behandlungsergebnis der Karzinome unter Zuhilfenahme aller Methoden, welche nach und nach bekannt geworden sind. Es ergibt sich auf Grund seines Materials, daß die Heilung seit 1912–1918 von etwa 20 auf 40% gestiegen ist. Von 131 inoperablen Fällen, welche 5 Jahre beobachtet sind, leben 8 Frauen, doch hat es sich in 51 Fällen um prognostisch ganz ungünstige Krankheitsbilder gehandelt. Heilungsziffer ist dementsprechend ca. 10%.

Seitz-Wintz.

49 Fälle, Beobachtung 2—3 Jahre.

Teilweise ist bis 2000 mgeh Radium gegeben worden.
Von 49 Fällen geheilt nach 2 Jahren 17 = 34,7%
„ 45 „ „ „ 3 „ 11 = 24,5%
Außerdem 90 Fälle vorwiegend mit Röntgen bestrahlt.

Beobachtungszeit 3—5 Jahre.

Es leben und sind gesund 31 = 34%
Gruppe I u. II: 30 geheilt 20 = 66%
„ III: 60 „ 11 = 18%

1922. **Kupferberg.**

98 Fälle, Beobachtung 4 Jahre.

Es leben und sind gesund 14 = 14,5%
Gruppe I: 32 geheilt 9 = 27%
„ II: 00 „ 0
„ III: 54 „ 5 = 9%

1922. **Spinelli.**

Es handelt sich nur um eine ganz geringe Zahl von Fällen mit kurzer Beobachtung. Es wird auch besonderer Wert auf die sog. präkanserösen Stadien gelegt.

Siegel.

Auch hier wird der Einfluß aller Methoden auf die Heilungsziffern des Kollumkarzinoms geprüft, ähnlich wie es Giesecke getan hat. Die Fälle sind teils operiert, teils bestrahlt, teils kombiniert bestrahlt.

65 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.

Es leben und sind gesund 15 = 23,5%
Gruppe I: 29 geheilt 9 = 31%
„ II: 14 „ 3 = 21%
„ III: 20 „ 3 = 15%
„ IV: „ 0

Für die nur bestrahlten Fälle rechnet Siegel mit folgenden Heilungsziffern:

Gruppe I u. II: 6 geheilt 1 = 16%
„ III: 20 „ 3 = 15%

Weiter wird über 126 Fälle berichtet, welche seit 2 Jahren beobachtet werden. Da den Zahlen nur ein sehr bedingter Wert zukommt, soll von ihrer Wiedergabe abgesehen werden.

1923. **Wintz.**

230 Fälle, Beobachtung $4^1/_2$—$6^1/_2$ Jahre.
Es leben und sind gesund 40 = 17%.
Eine Aufteilung in Gruppen findet sich nicht angegeben.

Winter (München).

87 Fälle, Beobachtung 4—5 Jahre.
Es leben und sind gesund 9 = 10%.
Sämtliche Fälle waren inoperabel.

Mühlmann.

53 Fälle, Beobachtung $3^1/_4$—5 Jahre.
Es leben und sind gesund 9 = 17%
Gruppe I: 1 geheilt 1 = 100%
„ IIa: „
„ IIb: 31 „ 6 = 18%
„ III: 21 „ 2 = 10%

Mühlmann teilt in Gruppe I—IV ein, bewertet aber die Gruppe IV nach Gruppe III der Krönig-Döderleinschen Einteilung.

Stark.

Es handelt sich nur um ganz wenige und meist aussichtslose Fälle.

C. Radium-Röntgen kombiniert.

1920. **Schäffer** (Bumm).

282 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.
Es leben und sind gesund 50 = 17,7%
Gruppe I: 74 geheilt 25 = 33,8%
„ II: 81 „ 19 = 27,5%
„ III: 127 „ 6 = 4,7%

Hüssy.

Die Zusammenstellung, welche Hüssy gibt, erschwert es außerordentlich, eine zahlenmäßige Statistik zu geben. Bei Hüssy sind die Fälle in Kurven eingetragen, was allerdings sehr anschaulich wirkt.

1. Operable und nur bestrahlte Fälle 8, geheilt nach 4 Jahren 2 = 25%.
2. Operable Fälle, operiert und bestrahlt 43, geheilt nach 4 Jahren
   a) mit starken Radiumdosen 20%
   b) „ „ Röntgen „ 8%
3. Inoperable Fälle 48, geheilt nach 4 Jahren
   a) mit starken Radiumdosen 25%
   b) „ „ Röntgen „ 2%

Hüssy empfiehlt nach seinen Erfahrungen die Operation, wo sie irgend angängig ist, und die Nachbestrahlung mit starken Radiumdosen.

Warnekros (Bumm).

173 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.
Es leben und sind gesund 39 = 22,5%.
Gruppe I: 69 geheilt 20 = 29%
„ II: 27 „ 12 = 41%
„ III: 77 „ 7 = 10%

1921. **Schmidt** (v. Franqué).

53 Fälle, Beobachtung 5—8 Jahre.
Es leben und sind gesund 16 = 30%
Gruppe I u. II: 36 geheilt 14 = 40%
„ III u. IV: 17 „ 2? = 12%

1923. **Opitz.**

42 Fälle, Beobachtung 3—4 Jahre.
Es leben und sind gesund 23 = 55%.
Gruppe I: 2 geheilt 2 = 100%
„ II: 9 „ 5 = 55%
„ III: 25 „ 16 = 55%
„ IV: 1 „ 0

D. Prophylaktische Nachbestrahlung.

1920. **Warnekros.**

64 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.
Es leben und sind gesund 46 = 71,8%.

Steiger.

25 Fälle, Beobachtung 2—4 Jahre.
Es leben und sind gesund 10 = 40%.
Lebensverlängerung durch Operation 16—20 Monate
„ „ Bestrahlung 30 „

Benthin.

26 Fälle, Beobachtung 4—5 Jahre.
Es leben und sind gesund 8 = 32%.
Gruppe I: 14 geheilt 7 = 50%
„ II: 4 „ 1 = 25%
„ III: 8 „ 0

1921. **Adler**[1]).

88 Fälle, Beobachtung 4—6 Jahre.
Es leben und sind gesund 42 = 47%.
Nach 6 Jahren von 33 Fällen 18 = 54,5%
„ 5 „ „ 29 „ 13 = 44,8%
„ 4 „ „ 26 „ 11 = 42,3%

Schmidt (v. Franqué).

14 Fälle, Beobachtung 5 Jahre.
Es leben und sind gesund 7 = 50%.

1922. **Kupferberg.**

17 Fälle, Beobachtung 4 Jahre.
Es leben und sind gesund 4 = 23%.

Zählt man die Fälle, über welche die genannten Autoren berichtet haben, ohne Rücksicht auf die Art der Therapie zusammen und nimmt nur diejenigen, welche mindestens 4 Jahre nach abgeschlossener Behandlung beobachtet sind, so ergibt sich eine

Gesamtzahl von 2427 Fällen mit 528 Heilungen

was einem Prozentsatz von 21,7% entspricht. In dieser Zahl hätten wir also zwar grob, aber zweifellos ziemlich unverfälscht, die absolute Heilungsziffer des Kollumkarzinoms mit Hilfe der Aktinotherapie zu erblicken.

[1]) Nachbestrahlung mit Radium.

Literaturverzeichnis.

Abderhalden, Abwehrfermente, Springer 1923.
Albers-Schönberg, Mschr. f. Geburtsh. 36.
— Röntgentechnik, Lucas Graefe u. Sillem, Hamburg.
Adler, Die Radiumbehandlung des Uteruskarzinoms. Urban und Schwarzenberg 1918. Zbl. f. Gyn. 1916 S. 673.
— Gynäkologenkongreß 1920.
— Strahlenther. 12.
Amreich, Strahlenther. 12.
Anschütz-Hellmann, M. m. W. 1923, Nr. 15.
Arendt, Gyn.-Kongreß 1913, B. kl. W. 1911, Nr. 8; D. m. W. 1911, Nr. 32.
Aschoff-Krönig, Gauß, M. m. W. 1913 S. 337 u. 413.
Aschoff, M. m. W. 1913, Nr. 7.
Bachem, Strahlenther. 13.
Bagg, l. c. Schmidt.
Baisch, Strahlenther. 10.
Becker, Strahlenther. 15 H. 3.
Behnken, Röntgenkongreß Berlin 1924.
Behring-Hans Meyer, M. m. W. 1911, Nr. 19.
Behnken, Zbl. f. Gyn. 1924 S. 1176.
Berger, Strahlenther.-Bd.
Bertram, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1673.
Benthin, Strahlenther. 12; Zschr. f. Geburtsh. 83.
Bier, M. m. W. 1923, Nr. 31.
Bock, Strahlenther. 16 H. 5.
Bornait-Légueule, Zbl. f. Gyn. 1910 S. 1177.
Brunet, Zschr. f. Geburtsh. 56; Arch. f. Gynäk. 78.
Bumm, Zbl. f. Gyn. 1912 S. 1569.
— B. kl. W. 1913, Nr. 22 u. 1914, Nr. 5.
— Eröffnungsrede zum Gyn.-Kongreß 1920.
— Zbl. f. Gyn. 1919, Nr. 1.
— Zbl. f. Gyn. 1924 S. 1994.
— Gynäkologenkongreß 1922.
— Zbl. f. Gyn. 1924, Nr. 34.
Bumm-Sigwart, Arch. f. Gynäk. 106.
Bumm, zit. n. Kehrer.
Bumm-Schäffer, Zbl. f. Gyn. 1918.
Büttner u. Müller, Technik und Verwertung der Röntgenstrahlen, Erfurt 1897.
Caesar, Strahlenther. 15 H. 1.
Caspari, Strahlenther. 15.
Chéron, Rubens Duval, Soc. d'obstet. de Paris 1910, Zbl. f. Gyn. 1910, Nr. 29.
— ref. Zbl. f. Gyn. 1911 S. 734; s. auch 1914 S. 55.
Chooul, M. m. W. 1921 S. 291.
Clark, l. c. Schmidt.
Clunet, Diss. Paris l. c. Prym.
Czerny, Zbl. f. Gyn. 1910 S. 657.
Daels, Zbl f. Gyn. 1912 S. 1417.
Dessauer, .Strahlenmonographien, Steinkopff 1923 (ausführl. Lit.).
— Med. Kl. 1905.
Dessauer-Vierheller, Strahlenther. 12 u. 13.
Dietrich, Mschr. f. Geburtsh. 60.
— Strahlenther. 10.
Döderlein jun., Gynäkologenkongreß 1923.
Döderlein, Strahlenther. 15 H. 6.
— M. m. W. 1922 Nr. 7.
— Mschr. f. Geburtsh. 37.
Döderlein-Krönig, Operative Gynäkologie, Groedlein 1923.
Dominici, Strahlenther. 3.

Duncan, l. c. Schmidt.
Ellinger-Rapp, Strahlenther. 15 H. 6.
Eltze, Festschr. f. v. Winkel, Lehmanns Verlag 1907.
Engelhorn, Strahlenther. 3.
Exner, Sitzungsber. Ak. d. Wiss. Wien 1903.
Eymer, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1183.
Failla, c. l. Schmidt.
Fernau, Strahlenther. 7.
— Strahlenther. 15 H. 4.
Fischer, Strahlenther. 13.
Flateau, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1237.
— Zbl. f. Gyn. 1922 S. 36.
Fletscher-Show (Manchester), Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1005.
Foveau de Courmelles, Intern. Kongreß London 1913.
Frankl, in Liepmann Handbuch II, Vogel 1914.
Frankel, Strahlenther. 12.
v. Franqué, Med. Kl. 1922 S. 817.
— Zschr. f. Geburtsh. 77.
Franz, Arch. f. Gynäk. 10.
Freer, Strahlenther. 15, 17.
Freund-Kamminer, Biochem. Ztschr. 26.
Friedrich-Glasser, Strahlenther. 11.
Füth, Zbl. f. Gyn. 1917.
Gal, Strahlenther. 11.
Gauss, Strahlenther. 2.
— Zbl. f. Gyn. 1914; M. m. W. 1914.
— l. c. Krönig, D. m. W. 1914 S. 740.
Gaylord u. Cloves, ref. Zbl. f. Gyn. 1908 S. 871.
Geipel-Rostosky, Ges. f. Natur- u. Heilkunde Dresden, D. m. W. 1914 S. 733.
Geller, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 406.
Giesecke, Gynäkologenkongreß 1920, Zbl. f. Gyn. 1920 S. 687; Strahlenther. 11.
Glasser, Strahlenther. 12.
Glocker, Rothacker, Schönleber, Strahlenther. 14.
Grashey, M. m. W. 1921 Nr. 6.
Grebe-Martius, Strahlenther. 16 H. 2.
Grödel, Röntgenkongreß 1921.
Haendly, Strahlenther. 12.
Halban, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1480.
Halberstädter-Simons, Strahlenther. 15 H. 11.
Hauenstein, M. m. W. 1921 Nr. 26.
Hauschting, Arch. f. Gynäk. 113.
Hausser u. Vahle, Strahlenther. 13.
Heinicke, M. m. W. 1914 Nr. 15.
Heiner, Strahlenther. 15 H. 4.
Heinrichs, Ges. f. Geburtsh. u. Gyn. Berlin 1896, Zbl. f. Gyn. 1896 S. 519.
Henkel, Arch. f. Gynäk. 98.
Heymann, Arch. f. Gynäk. 108; Strahlenther. 10.
Hofbauer, Gynäkologenkongreß 1923.
Holfelder-Bornhauser, Yalousis, Strahlenther. 16 H. 3 4.
Holfelder, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 924.
— Strahlenther. 12; s. auch Schulte, Strahlenther. 12.
Holthusen, Pflüg. Arch. 189; Kl. W. 1922.
Holzbach, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1893.
Holzknecht, Radiologie 11, Urban u. Schwarzenberg 1924.
— Dosierungstabellen, Deutike Leipzig 1923.
Hüssy, Strahlenther. 10, 1920.
Hüttner (Milzreizbestrahlung), Strahlenther. 13.
Jaeger, Strahlenther. 16 H. 3/4; s. a. Strahlenther. 15 H. 5.
v. Jaschke-Siegel, Strahlenther. 12; Gynäkologenkongreß 1920.
Jüngling, Röntgenkongreß Berlin 1924.

Kaestle, Münch. m. W. 1911 S. 928.
Kahn-Potthoff, Strahlenther. 1923, 15 H. 6; Kl. W. 1922 Nr. 8 u. 34.
Kaysser, M. m. W. 19.
Keetmann, B. kl. W. 1913 Nr. 39 u. 1914 Nr. 16.
Kehrer, Radiumreferat Gynäkologenkongreß 1920.
— Gynäkologenkongreß 1922.
— Arch. f. Gynäk. 108.
Kehrer-Lahm, Gynäkologenkongreß 1920; Str. Ther. 10, Strahlentiefenther., Steinkopff 1921.
Klein, M. m. W. 1914 Nr. 12.
— Strahlenther. 16 H. 2.
Köhler-Herxheimer, Fortschr. d. Röntgenstr. 8.
Kok u. Vorländer, Strahlenther. 15 H. 5; Strahlenther. 14 S. 497.
Kok, Zbl. f. Gyn. 1924 S. 1136.
Kolischer, l. c. Zangemeister.
Kottmann, Korr. Bl. f. Schw. Ärzte 1918.
Kraul, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1573.
Krömer, Mschr. f. Geburtsh. 1923 S. 1573.
Krönig-Friedrich, Physikalische u. biologische Grundlagen der Strahlenther., Urban-Schwarzenberg 1918.
Krönig, Mschr. f. Geburtsh. 43.
— D. m. W. 1914 Nr. 15/16.
— D. m. W. 1914 S. 740.
Kruckenberg, M. m. W. 1913 Nr. 38.
Kupferberg, Strahlenther. 1922, 13.
Kurtzahn, Strahlenther. 13.
Küstner, Strahlenther. 15.
— Röntgenkongreß Berlin 1924.
Lahm, Die pathologisch-anatomischen Grundlagen der Frauenkrankheiten, Steinkopff 1923.
— Funktionelle Diagnose an der Uterusschleimhaut, Kl. W. 1924 S. 1166.
— Das Karzinom des Uterus nach ätiologischen und pathologisch-anatomischen Gesichtspunkten, Seitz-Halban, Biologie u. Pathologie d. Weibes, Bd. 4, Urban und Schwarzenberg 1924.
— Gynäkologenkongreß 1922, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1218.
— Radiumtiefentherapie, Steinkopff 1921.
— Gynäkologenkongreß 1920.
— Röntgenkongreß 1922.
— Röntgenkongreß Berlin 1924.
— M. m. W. 1920 Nr. 36.
— Mschr. f. Geburtsh. 1914, 39.
Lahm-Merdler, M. m. W. 1924 S. 641.
Langer, l. c. Wintz, Strahlenmethode.
Lazaraus, B. kl. W. 1913 Nr. 28.
— zit. n. Heiner l. c. 15 H. 4.
Leyden, Internat. Krebskonferenz, Zbl. f. Gyn. 1912 S. 1145.
Littauer, Gyn.-Ges. Leipzig, Zbl. f. Gyn. 1912 S. 1439.
Lourier, Zbl. f. Gyn. 1910 S. 1442.
Mahnert u. Zacherl, Strahlenther. 16 H. 2.
Martini, Fortschr. d. Röntgenstr. 12.
Martius, Zbl. f. Gyn. 1921 S. 296.
— Handbuch d. gesamten medizinischen Anwendung d. Elektrizität, Klinkhardt 1924.
Matzdorf, Fortschr. d. Röntgenstr. 27 S. 297.
Meidner, Ther. d. Gegenw. 1912.
Menge, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1178.
— Zbl. f. Gyn. 1919 Nr. 51.
Mentzel, Diss. ref. Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1005.
— Diss., Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1005.
Merdler, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1824.
Meyer, A., Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1599.
— Zbl. f. Gyn. 1921 S. 269.
Meyer, H., Strahlenther. 11.
Meyer, Rob., Zbl. f. Gyn. 1912 S. 544.

Mickulicz-Radecki, Strahlenther. 16 H. 2.
Miescher, Strahlenther. 16 H. 3/4.
Morgenstern, zit. n. Warnekros 23, Wien. kl. W. 1917.
Mühlmann, Strahlenther. 16 H. 1.
Müller, Max, Strahlenther. 13.
— Mschr. f. Geburtsh. 45.
— (Immenstadt), Zbl. f. Gyn. 1913; Strahlenther. 10.
Nahmacher, M. Kl. 1910 Nr. 32.
Nürnberger, Strahlenther. 12.
Opitz, Strahlenther. 15 H. 6; Zbl. f. Gyn. 1922 S. 919; s. auch Strahlenther. 10.
— Röntgenkongreß 1924.
— M. m. W. 1923 Nr. 42.
— Strahlenther. 15.
Opitz-Friedrich, M. m. W. 1920 Nr. 1.
Perthes, Fortschr. d. Röntgenstr. 18.
— Strahlenther. 15, H. 6 1924.
Piccaluga, Strahlenther. 16.
Pinch, Brit. med. journ. 3155; ref. Zbl. f. Gyn. 1921 S. 1791.
Pinkuss, Intern. Kongreß Berlin 1912.
Pordes, Fortschr. d. Strahlenther. 31.
Prochownik, Zbl. f. Gyn. 1919 S. 482.
Prym, Handb. d. Röntgenther. Klinkhardt, Leipzig Lief. 5.
Puga, Strahlenther. 16 H. 2.
Rahm, Strahlenther. 16 H. 3/4.
Recasens, Strahlenther. 12.
— Strahlenther. 11.
Regoud zit. n. Holzknecht.
Reichen-Lenz, Derm. Zschr. 1911; D. m. W. 1912 Nr. 1.
Ritter, Prost, Krüger, zit. n. Miescher.
Rubino-Varela, Kl. W. 1923 Nr. 11.
Runge, Praktikum d. gyn. Strahlenther., Keim-Nemnich 1918.
Sachs, Strahlenther. 15 1923, H. 6. Thieme 1924.
Sauerbruch, D. m. W. 1922 Nr. 3—5.
Schäffer, Gynäkologenkongreß 1920; Zbl. f. Gyn. 1920 S. 714.
Schauta, Zbl. f. Gyn. 1914 S. 961.
Schinz u. Nather, Röntgenkongreß 1922.
Schmidt, Halberstädter, Wolfsberg. Strahlenther. 12, Fortschr. d. Rö. 29 S. 545.
Schmidt, Strahlenther. 12.
— Strahlenther. 13.
Schmieden, Strahlenther. 13.
Schneider, Strahlenther. 15 H. 4.
Schottländer u. Kermauner, Das Uteruskarzinom, Karger 1912.
Schücking, Zbl. f. Gyn. 1906 S. 273.
Schüller, Strahlenther. 3.
Schwarz, Strahlenther. 16 H. 3/4.
— W. kl. W. 1909 Nr. 9.
— M. m. W. 1909 u. 1921 S. 766.
Schweitzer, Strahlenther. 12.
Seitz, Gynäkologenkongreß 1922.
— Strahlenther. 15.
Seitz in Seitz-Halban, Biologie u. Pathologie des Weibes, Urban u. Schwarzenberg 19124, 1.
Seitz-Wintz, Referat a. d. Gynäkologenkongreß 1920.
— Zbl. f. Gyn. 1920 S. 97, 529.
— Unsere Methode der Röntgentiefentherapie, Urban-Schwarzenberg 1920.
Schiemann, M. Kl. 1908 Nr. 30.
Sidamgrotzky-Pivard, Strahlenther. 15 S. 634.
Sielmann, Strahlenther. 15 H. 4.
Siegel, Gynäkologenkongreß 1920; Strahlenther. 12; Zbl. f. Gyn. 1922 S. 2067.
Simon, M. m. W. 1922 Nr. 44.
Sippel u. Jäckel, M. m. W. 1923 Nr. 38.

Spenzer (London), Zbl. f. Gyn. 1896 S. 1204.
Spinelli, Strahlenther. 13.
Stark, Strahlenther. 16.
Steiger, Strahlenther. 11.
Sticker, B. kl. W. 1912 Nr. 50.
Strauß, D. m. W. 1921 Nr. 50; D. m. W. 1922 Nr. 12/13; Strahlenther. 16.
— Strahlenther. 14 u. 16 H. 2.
— H., D. m. W. 1923 Nr. 52.
v. Seuffert, ebenda Zbl. f. Gyn. 1913 S. 604.
— Gynäkologenkongreß 1920; Fortschr. d. Röntgenstr. 16.
— Röntgenkongreß 1922.
— Strahlenther. 11.
— Strahlentiefenther., Urban-Schwarzenberg 1918.
Thaler, Zbl. f. Gyn. 1924.
Theilhaber, Zbl. f. Gyn. 1912 S. 1323; W. kl. W. 1912 Nr. 37.
— Strahlenther. 11 u. 15.
— Zschr. f. Krebsforsch. 8.
Thies, Zbl. f. Gyn. 1924 Nr. 35.
Tomanek, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 923.
Vey, Zbl. f. Gyn. 1923.
Voltz, Dosierungstabellen, Lehmann 1920; Strahlenther. 11.
— Strahlenther. 14, Zbl. f. Gyn. 1922 S. 1217.
Waeber, Arch. f. Gynäk. 113.
Warnekros, Referat auf dem Gynäkologenkongreß 1920; Strahlenther. 11.
Wassermann, M. m. W. 1921.
Weinbrenner, Gynäkologenkongreß 1920; Strahlenther. 11.
— Strahlenther. 11.
Werner, Intern. Kongreß f. Physiologie; Zbl. f. Gyn. 1913 S. 601; Strahlenther. 12.
— Strahlenther. 15 H. 6.
Wertheim, W. kl. W. 1913 Nr. 24, 41.
Wertheimer, Strahlenther. 12.
Wetterer, Strahlenther. des Auslandes, Strahlenther. 17 H. 3.
Wickham-Bellot, Strahlenther. 3.
Wickham u. Degrais, Acad. de. med. Sitz. v. 26. 5. 1908. Springer 1910, Strahlenther. 3.
Winter, Zbl. f. Gyn. 1923 S. 1233.
Wintz, Mschr. f. Geburtsk. 50.
— M. m. W. 1918, l. c. Seitz-Wintz, Unsere Methode d. Röntgentiefenther., Urban-Schwarzenberg 1920.
— Die Röntgenbehandlung des Uteruskarzinoms, Thieme 1924.
— Strahlenther. 15 H. 6.
Wood u. Prime, Strahlenther. 13.
Zacherl-Lundwall, Zbl. f. Gyn. 1922.
Zander, Arch. f. Gynäk. 115.
Zangemeister, Arch. f. Gynäk. 63.
Zumpe, Strahlenther. 12.
Zweifel-Aulhorn, Arch. f. Gynäk. 92 S. 231.

Die Röntgen- und Radiumbehandlung des Ösophaguskarzinoms

Von

Privatdozent Dr. **Hans Kurtzahn**
Chirurg. Klinik Königsberg

Mit 34 Abbildungen und 6 Tabellen im Text

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung: Anatomische und pathologisch-anatomische Vorbemerkungen — Diagnose — Behandlungsmöglichkeiten

1. Röntgenbestrahlung:
   a) Übersicht über Methoden und Erfolge 672
   b) Grundlagen und Aussichten moderner Bestrahlungsweise 675
2. Radiumbestrahlung:
   a) Übersicht über Methoden und Erfolge. Sonde — Ösophagoskop — Verschiedene Methoden — Sondierung ohne Ende 677
   b) Grundlagen und Aussichten moderner Bestrahlungsweise 707
3. Kombination der lokalen Radiumwirkung mit andersartiger Anwendung radioaktiver Substanzen oder mit Röntgenstrahlen 715

Literaturverzeichnis 718

Anatomische und pathologisch-anatomische Vorbemerkungen.

Die Diagnose und die Therapie des Speiseröhrenkarzinoms werden durch die versteckte Lage des Ösophagus im hinteren Mediastinum erschwert. Das gilt auch von der Strahlentherapie. Die anatomischen Verhältnisse komplizieren Technik und Dosierung, die Zartheit des Speiseröhrenschlauches und sein infektiöser Inhalt bedingen besondere Gefahren, und die Nachbarschaft strahlenempfindlicher Organe kann zu deren Schädigung führen. Es erscheint daher angebracht, einige für die Strahlentherapie wichtige anatomische Daten kurz anzuführen.

Die Entfernung von der oberen Zahnreihe bis zur Kardia beträgt beim Erwachsenen im Mittel 40 cm, davon kommen aber nur 25 cm auf das in der Höhe des unteren Randes des Krikoidknorpels beginnende eigentliche Ösophagusrohr. Auf die Wirbelsäule bezogen, entspricht der Beginn der Speiseröhre dem Tuberculum caroticum, dem Processus transversus des 6. Halswirbels. Höhersitzende Karzinome sind demgemäß nicht als Speiseröhrenkrebse, sondern als Tumoren der Pars laryngea pharyngis zu bezeichnen.

Das Lumen der Speiseröhre schwankt zwischen 7—22 mm, je nach dem Höhenabschnitte. Die sog. physiologischen Engen der Speiseröhre, welche bekanntlich vom Karzinom bevorzugt werden, befinden sich erstens am Anfange der Pars cervicalis, zweitens in Höhe der Bifurkation der Trachea, etwa der Kreuzungsstelle der Aorta mit der Speiseröhre entsprechend, drittens am Hiatus oesophageus des Zwerchfelles. Die dritte Enge reicht bis zur Kardia des Magens. Tiefsitzende Ösophaguskarzinome greifen daher nicht selten auf die Kardia, Kardiakarzinome auf das untere Ende der Speiseröhre über, so daß Kardiakarzinome und tiefsitzende Ösophaguskarzinome klinisch nicht immer zu trennen sind.

Die Wand der Speiseröhre wird von 2 Muskelschläuchen, der äußeren Längsmuskelschicht und der inneren Ringmuskelschicht, gebildet. Die Schleimhaut ruht auf dem lockeren Gewebe der Submukosa.

Von Nachbarorganen, deren Mitbestrahlung unerwünscht ist, sind beim Halsteile der Speiseröhre besonders Kehlkopf und Schilddrüse zu nennen, im Brustteile außer den Lungen, der Aorta und dem Herzen, dessen linker Vorhof gegen die Speiseröhre gerichtet ist, die Trachea, im Kardiaabschnitt Milz, Leber und Magen.

Der Krebs der Speiseröhre tritt in 3 Formen auf, als zirrhöser, als medullärer und als papillärer Tumor. Die Verschiedenheit des makroskopischen und histologischen Baues spielt nicht nur bei dem Auftreten der Symptome und dem klinischen Verlaufe, sondern, wie wir sehen werden, auch bei der radiotherapeutischen Beeinflussung eine gewisse Rolle.

Der zirrhöse Ösophaguskrebs bildet harte, narbenähnliche Infiltrate, die sich weniger in der Längsrichtung als in der Zirkumferenz des Speiseröhrenschlauches ausbreiten. So kommt es nicht selten zu halbringförmigen oder auch zu vollkommen ringförmigen Stenosen von geringer Länge. In den Anfangsstadien ist diese Krebsform frei von ulze-

rösen Prozessen, es kann also ein wichtiges Symptom bei der ösophagoskopischen Untersuchung fehlen. Erst relativ spät bildet sich, gewöhnlich auf der Höhe des Tumors, ein von derben, wallartigen Rändern umsäumtes Ulkus.

Histologisch bestehen diese zirrhösen Ösophaguskarzinome aus „schmalen, vielfach netzförmig verzweigten Strängen schmaler, den Basalzellen ähnelnder Epithelien, welche, an den Rändern subepithelial vordringend, durch Infiltration der Submukosa die wallartige Erhebung der Ränder bedingen" (Aschoff).

Die zweite Form, der medulläre Ösophaguskrebs, wird durch größere Ausdehnung, frühe Ulzeration und starke Tumorbildung gekennzeichnet. Die weichen Tumormassen dieser Krebsform haben eine große Neigung zum Zerfall, daher finden sich bereits frühzeitig ausgedehnte Geschwüre. Die Tumoren und auch die Geschwüre haben in der Regel längliche Gestalt, ihre Längsrichtung entspricht dem Verlaufe der Speiseröhre. Zumeist ist die dem Karzinom gegenüberliegende Speiseröhrenwand gesund, nur selten umfaßt der Krebs die ganze Zirkumferenz.

Abb 1. Stenosierende Metastasen eines kleinen Ösophaguskarzinoms. (Nach Ribbert.)

Histologisch handelt es sich bei diesen medullären Krebsen um verhornende Plattenepithelkarzinome. Sie sind die häufigste Form der Speiseröhrenkrebse.

Als dritte Form ist das papilläre Karzinom zu nennen, lappige, knollige Tumoren, die der Speiseröhrenwand breitbasig aufsitzen und relativ großen Umfang erreichen können. Ähnlich den medullären Krebsen neigen auch sie zur Geschwürsbildung. Mikroskopisch findet sich adenomatöses Wachstum, Zylinderzellen-, aber auch Plattenepithelkarzinome.

Metastasen treten beim Ösophaguskarzinom gewöhnlich relativ spät auf, jedoch sind Ausnahmen nicht selten. Mitunter findet man bei großen Speiseröhrenkrebsen keine, bei kleinen Karzinomen mächtige Drüsenpakete. Die klinischen Symptome des Ösophaguskrebses können daher lediglich durch die Metastasen, nicht durch den Primärtumor bedingt werden, indem große Drüsenmetastasen die intakte Speiseröhrenwand bis zur Verengerung des Lumens verwölben (Abb. 1).

Die Metastasierung geschieht gewöhnlich auf dem Lymphwege, seltener, z. B. bei Einbruch des Tumors in eine Vene, durch die Blutbahn. Neben den mediastinalen kommen vor allem die rechtseitigen, dann die linkseitigen supra- und infraklavikulären Drüsen in Betracht, aber auch die Lymphdrüsen hinter dem Magen können ergriffen und in umfangreiche Tumoren verwandelt werden. Seltener beobachtet man Metastasen in anderen Organen, z. B. in der Lunge und in der Leber.

Diagnose.

Der versteckte Sitz der Speiseröhrenkrebse macht es verständlich, wenn die Diagnosenstellung gewöhnlich erst in einem mehr oder weniger vorgerückten Stadium erfolgt. Das erste Symptom, welches überhaupt den Kranken auf sein Leiden aufmerk-

sam macht, ist die Schluckbehinderung, diese treibt ihn früher oder später zum Arzt. Es ist anzustreben, daß diese Fälle sofort dem Chirurgen und Radiotherapeuten überwiesen werden. Leider war das bisher oft nicht der Fall; so vergingen z. B. bei unserem Material im Durchschnitt 3—4 Monate, bis die Kranken in unsere Behandlung kamen. Ein Teil der unbefriedigenden Erfolge der Strahlentherapie ist sicherlich auf das Konto des zu späten Beginnes der Behandlung zu setzen. Ein allgemeiner Pessimismus der Ärzte im Hinblick auf die Ergebnisse der Strahlentherapie des Speiseröhrenkrebses spielt eine Rolle, die Annahme nämlich, daß den Kranken überhaupt nicht geholfen werden könne. Eine solche ablehnende Beurteilung der Ergebnisse der Radiotherapie entspricht, wie wir sehen werden, nicht den Tatsachen.

Die Klage darüber, daß die Kranken mit Ösophaguskrebsen zur Zeit des Beginnes der Strahlenbehandlung in der großen Mehrzahl durch die Dauer ihres Leidens bereits zu elenden, kachektischen, wasserverarmten Individuen, Menschen ohne Lebenskraft und Energie geworden sind, ist allgemein. Werner z. B. schreibt, daß seine eigene Erfahrung sich „nur auf weit vorgeschrittene Karzinome, welche die ganze Wand der Speiseröhre infiltriert hatten, und meist auch schon in die Umgebung tief hineingewandert waren", erstreckte. Bei solchem Material sind naturgemäß keine langdauernden Besserungen zu erwarten. Anderseits ist es nach Werner „sehr wahrscheinlich, daß die innere Behandlung der Speiseröhrenkrebse mit Radium oder Mesothorium bei ganz beginnenden oberflächlichen Fällen günstige Erfolge zeitigen wird". Auch Barcat war der Meinung, daß „ein Krebs im Anfangsstadium, der noch nicht auf die periösophagealen Drüsen übergegangen ist, alle Aussicht auf Dauerheilung bieten dürfte".

Es muß gefordert werden, daß beim Eintreten von Schluckbeschwerden eine genaue Untersuchung der Speiseröhre unter Anwendung des Röntgenverfahrens, der Ösophagoskopie und nötigenfalls auch der Probeexzision vorgenommen wird. Die Differentialdiagnose des Speiseröhrenkrebses gegenüber anderen, den Ösophagus verengenden Prozessen, z. B. Divertikeln, Spasmen, Verätzungsstrikturen wird meistensteils gelingen. Das Alter und Geschlecht (das Ösophaguskarzinom kommt etwa fünfmal häufiger bei Männern vor) geben bereits einen gewissen Anhalt. Eine Vortäuschung eines Ösophaguskarzinoms durch extraösophageal gelegene Tumoren, Mediastinaltumoren, Geschwülsten und andere Erkrankungen der Lungen, der Pleura, der Wirbelsäule, der Aorta kann fast immer vermieden werden. Schwer ist es, eine Ösophagusstenose durch Karzinommetastasen eines Ösophaguskrebses als solche zu erkennen, so wichtig auch eine derartige Feststellung in bezug auf Prognose und Therapie wäre, und am schwierigsten ist die Diagnose beginnender Karzinome ohne Ulzeration, wie sie besonders bei der zirrhösen Form beobachtet werden.

Die Durchleuchtung darf nie unterlassen werden, das Schattenbild im ersten schrägen Durchmesser gibt einen genaueren Anhalt über die vorliegenden Verhältnisse, die Enge, die Form, manchmal auch die Länge der Stenose als das Röntgenbild. Die Kenntnis der Längenausdehnung des Karzinoms ist besonders vor der Vornahme einer Radiumbestrahlung erwünscht, denn der Ausdehnung des Karzinoms soll naturgemäß die Länge des Radiumträgers entsprechen. Wir haben Durchleuchtungen und Aufnahmen häufig bei liegenden Kranken vorgenommen und genügende Füllung der ganzen Speiseröhre erhalten. Paluguay empfiehlt Beckenhochlagerung. Ledoux und Sluys versuchten die Festlegung des unteren Poles von Ösophaguskrebsen auf folgende Weise:

Auffüllung des Magens mit Kontrastmittel. Der Kranke wird auf einen um 30 Grad geneigten Tisch mit dem Kopf nach unten und der rechten Körperseite gegen die Röhre gelegt. Schluckt der Kranke in dieser Lage Bismutbrei und macht eine Würgebewegung, so sieht man durch die sich öff-

nende Kardia eine beträchtliche Menge Kontrastmittel in den Ösophagus aufsteigen. Eine Aufnahme in diesem Augenblick läßt die obere und untere Grenze des Tumors erkennen.

Man muß gestehen, daß diese Methode umständlich und unbequem für den Kranken ist, dessen Toleranz man für die spätere Behandlung dringend braucht.

So leicht in der Mehrzahl der Fälle die röntgenologische Diagnose gelingt, und so beweisend sie bei typischem Befunde auch ist, vielfach wird sie doch nicht ohne Ergänzung durch die Ösophagoskopie bleiben dürfen, z. B. in den Fällen, bei denen die unregelmäßige Begrenzung des unteren Endes des Kontrastbreiinhaltes oberhalb der Stenose fehlt. Die Begrenzung kann nämlich, z. B. bei der strikturierenden Form des zirrhösen Krebses, glatt sein. Bei diesem Befunde kann die Differentialdiagnose, besonders gegenüber spastischen Zuständen, Schwierigkeiten bereiten. - Wenn unser Wunsch der Behandlung von Frühfällen Wirklichkeit werden soll, so müssen alle unklaren und beginnenden Fälle ösophagoskopiert werden. Wir untersuchen dabei den Patienten nicht mehr in sitzender Haltung oder in Mikuliczscher Seitenlage, sondern in Rückenlage bei erhöhtem Becken und rückwärts gebeugtem, von einem Assistenten gehaltenem Kopfe. Ach betont den Wert der ösophagoskopischen Untersuchung zur Stellung der Frühdiagnose mit folgenden Worten:

„Um die Frühdiagnose des Ösophaguskarzinoms zu ermöglichen, ist es unbedingt notwendig, daß Kranke, die mit irgendwelchen Schluckbeschwerden zum Arzt kommen, sofort der ösophagoskopischen Untersuchung zugeführt werden. Es ist meines Erachtens nach ebenso selbstverständlich wie die Digitalexploration oder die Rektoskopie bei einem Kranken, der an Darmblutungen leidet. Hier wird aber erst dann Wandel geschaffen werden, d. h. wir werden die Ösophaguskranken erst dann frühzeitig zur Operation in die Hand bekommen, wenn die Ösophagoskopie Gemeingut sämtlicher Chirurgen geworden ist. Ist dies der Fall, so wird der praktische Arzt tagtäglich von dieser Untersuchungsmethode hören und wird gerne geneigt sein, einen Patienten mit Schluckbeschwerden dem Chirurgen zu überweisen und nicht wie bisher vertrösten, meist mit der Angabe, daß es sich um nervöse Erscheinungen handelt. Daß letzteres Moment bisher leider tatsächlich häufig der Fall war, darüber berichten uns unsere Karzinomkranken, die meist Monate vorher schon beim Arzt waren."

In vielen durch das Röntgenverfahren nicht geklärten Fällen ist die sichere Diagnose durch einfache Besichtigung vermittels des Ösophagoskops möglich, in Zweifelsfällen muß die Probeexzision ausgeführt werden. Diese Probeexzision hat aber ihre Gefahren und auch, wie Stegemann zutreffend bemerkt, ihre Schwierigkeiten. Die Gefahren bestehen in Blutung, Perforation und Infektion. Werner z. B. hält einen schädigenden Einfluß der Probeexzision für möglich: „Die Entscheidung, ob die Probeexzision einen so ungünstigen Einfluß auf den Verlauf des Ösophaguskarzinoms hatte, oder ob die ausgeheilten Strikturen keine karzinomatösen waren, ist vorläufig nicht zu fällen." Daher sollte die Probeexzision nur bei unsicherer Diagnose vorgenommen werden, dann aber sorgfältig. Wir entnehmen 2—3 Gewebstückchen aus verschiedenen Stellen der verdächtigen Wandveränderungen und sind bisher 16mal bei unsicherer Röntgendiagnose zur sicheren Feststellung eines Karzinoms gelangt. Die Probeexzision muß so tief reichen, daß die karzinomatöse Schicht unterhalb der unveränderten Schleimhaut mitgefaßt wird. Diese richtige Entnahme ist manchmal nicht leicht, daher „kommen Fälle vor, welche trotz des durch die Besichtigung gewonnenen Verdachtes auf Malignität ein negatives Untersuchungsergebnis aufweisen" (Stegemann). Besonders bei der zirrhösen Form, die erst relativ spät ulzeriert, ist die Probeexzision nicht immer sicher, mitunter verhindert auch ein Spasmus des oberhalb des Tumors gelegenen Speiseröhrenabschnittes die genügend tiefe Einführung des Ösophagoskops.

Nicht erwähnt wurde bisher die Sonde, mit gutem Grunde, denn dieses Instrument ist als diagnostisches Hilfsmittel zur Untersuchung von allen Wandveränderungen und

Strikturen des Ösophagus abzulehnen, ganz besonders bei der leicht zerreißlichen Wand der karzinomatösen Speiseröhre. Hat schon die Einführung der Radiumsonde zu Bestrahlungszwecken, wie wir sehen werden, ihre Bedenken, so ist die Anwendung der altmodischen Sonde zu diagnostischen Zwecken heute, da wir bessere und ungefährlichere Untersuchungsmethoden besitzen, als Kunstfehler zu bezeichnen.

Behandlungsmöglichkeiten.

Die Strahlenbehandlung des Speiseröhrenkrebses wäre von geringer Bedeutung, wenn es ein anderes und besseres Mittel zur Bekämpfung dieser Krankheit gäbe. In dem Augenblick, in dem es einer chirurgischen Methode glücken sollte, das Ösophaguskarzinom mit Erfolg operativ angreifbar zu machen, hätte die Strahlentherapie, mit ihren vorübergehenden symptomatischen Erfolgen, ihren Wert verloren. Die bisherigen operativen Versuche sind aber noch weit von diesem Ziele entfernt. Gewiß, einzelne Erfolge sind da. Czerny gelang bereits 1877 die erste Resektion des Halsteiles der Speiseröhre wegen Karzinom. Torek resezierte sogar ein Karzinom aus dem Brustteil der Speiseröhre; auch Völker, Zaaijers, Küttner u. a. erzielten relative Erfolge. Diese glücklichen Resultate operativer Technik sind aber dieser ziemlich häufigen Krankheit gegenüber so spärlich, daß sie praktisch nicht ins Gewicht fallen. Das Urteil von Postemsky: „Il y a des opérations, qu'on ne doit pas essayer, parce que l'insuccès est certain" ist zur Zeit leider noch nicht widerlegt.

Zu den palliativen Maßnahmen gehört die von Symons empfohlene, in Deutschland von v. Leyden eingeführte Behandlung vermittels Intubation mit Hartgummiröhren. Wenn nötig, sollte die Stenose zuvor durch Einführung von Quellstiften erweitert werden. Albert teilte einen Fall mit, in dem eine derartige Kanüle 7 Monate lang getragen wurde. Es ist verständlich, daß diese Behandlungsmethode verlassen ist, wenn sie auch harmloser und zweckmäßiger als die noch heute in Arbeiten und selbst in Lehrbüchern erwähnte oder gar empfohlene Dilatation durch Sonden war. Kirschner kennzeichnete die Sondierung auf dem 45. Chirurgenkongreß treffend mit folgenden Worten:

„Das blinde Vorstoßen von Sonden zum Zwecke der Dilatation erscheint mir bei hochgradigen Stenosen äußerst gefährlich, und dieses Vorgehen hat wohl schon sehr viel Unheil angerichtet. Man sollte doch endlich eingestehen, daß auch der „geübte und vorsichtige" Sondierer über den Weg, den die Sonde bei mehr oder minder gewaltsamem Vorstoßen im Bereiche enger Strikturen nimmt, nicht das geringste weiß. Er hat lediglich das Gefühl des Widerstandes, das aber ebensogut durch die Dilatierung einer Stenose, wie durch die Perforierung der morschen Ösophaguswand bedingt sein kann. Der Schmerz, den der Kranke äußert, besagt in dieser Beziehung auch nicht viel. Mir ist es daher unbegreiflich, wo manche Operateure den Mut hernehmen, in derartigen Fällen mit mehr oder minder sanfter Gewalt einem unglücklichen Kranken die Sonde in die Speiseröhre hineinzubohren."

Die einzige wirkliche Hilfe, die dem Kranken mit strikturierendem Ösophaguskarzinom, von der Strahlentherapie abgesehen, geleistet werden kann, ist die Gastrostomie. Fast sämtliche unserer in den letzten Jahren beobachteten Kranken mit Speiseröhrenkrebs kamen im Zustande höchster Schluckbehinderung zu uns, es galt zunächst, sie vor dem Hunger- und Dursttode zu bewahren. Nur in einer Minderzahl der Fälle beobachteten wir aber nach der Operation eine nennenswerte Erholung. Bei vielen Kranken spielt die Unmöglichkeit die Speisen zu schlucken eine Rolle; das Interesse an der Nahrung, die ihnen in ihrem Gastrostomieschlauch eingeführt wird, erlischt und, falls nicht in sorgfältiger häuslicher Pflege die Nahrungszufuhr überwacht wird, ist sie häufig unzureichend. Mitunter tritt allerdings im Anschluß an die Gastrostomie, durch Fortfall von spastischen Zuständen oberhalb der Karzinomenge bedingt, eine geringe Besse-

rung des Schluckvermögens ein, die aber meist nur von kurzer Dauer ist, auch vorübergehende Gewichtszunahme wird beobachtet.

Die Lebensdauer unserer nichtbestrahlten, gastrostomierten Kranken beträgt, nach unseren früheren Erfahrungen, vom Zeitpunkte der Anlegung der Magenfistel an gerechnet, im Durchschnitt $2-2^1/_2$ Monate. Hotz schätzt den Wert der Magenfistel für den Speiseröhrenkrebskranken ebenfalls nicht sehr hoch ein. Die Besserung des Allgemeinbefindens seiner Patienten (30 Fälle in den Jahren 1918/19) war von kurzer Dauer, 50% starben im Laufe weniger Wochen, und „die anderen Überlebenden haben herzlich wenig gewonnen".

Die Hoffnungen, die sich an andere Behandlungsmethoden knüpften, haben sich ebenfalls nicht erfüllt, „weder die Chemotherapie noch die Ferment- oder Immunotherapie haben die innere Medizin in der Behandlung der malignen Tumoren wesentlich gefördert. Bis auf ganz wenige Ausnahmen sind alle diese Behandlungsmethoden gänzlich erfolglos geblieben" (Lewin). „Il n'existe pas de traitement curatif du cancer de l'oesophage" (Loeper).

1. Röntgenbestrahlung.

a) Übersicht über Methoden und Erfolge.

Vor der Strahlenära war das therapeutische Rüstzeug dem Speiseröhrenkrebs gegenüber so klein, die Erfolge waren so unbefriedigend, daß der müde Pessimismus und die Resignation vieler Ärzte damaliger Zeit verständlich erscheint. Die Röntgentherapie erweckte neue Hoffnungen. Heilungen maligner Tumoren durch Röntgenstrahlen erregten begreifliches Aufsehen. Das Ausland ging uns mit der Erprobung der Strahlenwirkung am Krebse voran. Während „besonders aus Amerika und England bereits Hunderte von Fällen berichtetet wurden, in denen es gelang, bösartige Neubildungen durch Röntgenbestrahlungen zu heilen, weist die deutsche Literatur nur wenige derartige Mitteilungen auf" (Hahn, 1903). Erst als Perthes auf dem Chirurgenkongreß des Jahres 1903 über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf epitheliale Gewebe berichtete, mehrten sich die Versuche und die Erfolge.

Unter den 11 Fällen von Bestrahlungen bösartiger Neubildungen, über die Hahn 1903 im Hamburger ärztlichen Verein berichtete, befand sich auch ein Speiseröhrenkrebs:

„Auch in einem weit vorgeschrittenen Fall von Ösophaguskarzinom gelang es stets durch die Bestrahlungen die aufgetretenen Schmerzen zu vertreiben; irgendeinen Einfluß auf das Karzinom selbst hatten die Bestrahlungen nicht. Dasselbe schritt weiter fort, und erlag der Patient demselben einige Monate nach Beginn der Bestrahlung."

Interessant ist die Mitteilung der schmerzlindernden Wirkung der Strahlen, eine Beobachtung, die sich vielfach bestätigt hat, und die auch in neuester Zeit gewissermaßen wieder neuentdeckt ist. Hahn war damals der Meinung, daß sich zwar eine Einwirkung der Röntgenstrahlen auf bösartige Neubildungen nicht abstreiten ließe, daß aber nur dann eine Wirkung einzutreten scheine, wenn die Erkrankung in der Haut selbst liegt. Für den Speiseröhrenkrebs waren die Verhältnisse zu damaliger Zeit in der Tat ungünstig. Erfolge wurden fast ausschließlich bei Tumoren der Körperoberfläche erzielt, das tief im Innern des Thorax befindliche Ösophaguskarzinom war einer intensiven Wirkung der damals benutzten, mehr oder weniger weichen Strahlen entzogen. — Die Erfolge der Behandlung der Speiseröhrenkrebse, übrigens auch der

Pharynxkrebse, mit Röntgenstrahlen waren dementsprechend sehr spärlich. Es liegen nur wenige Mitteilungen vor, die Angaben von Hahn, Wendel, Eykmann, Wetterer, Werner, Cahn u. a. waren nicht dazu angetan, große Hoffnungen zu erwecken.

Eykmann beobachtete in einem Falle von Pharynxkrebs nach einer Röntgenbehandlung von 4 Monaten Dauer „Rückgang" des Karzinoms. Wetterer sah 1906 bei einem inoperablen Pharynxkarzinom mit Drüsenbeteiligung von der von außen und von innen durchgeführten Bestrahlung keinen Erfolg. „Allerdings waren damals die Dosen viel zu klein, die angewandten Filter viel zu schwach, als daß man hätte auf eine wesentliche Beeinflussung des Krebses rechnen dürfen." Dieser Satz, der für das Pharynxkarzinom galt, paßte in noch höherem Maße für den intrathorakal gelegenen Speiseröhrenkrebs. Bachem gab eine referierende, tabellarische Übersicht über die Erfolge, besser gesagt die Mißerfolge, einer Reihe älterer Autoren.

Tabelle 1.

Nr.	Jahr	Name		Fall	Erfolg
1.	1902	Eykmann	Jena 1902 H. Fischer (Ref. F. II, S. 110)	1	Rückgang
2.		Fittig	Beitr. z. klin. Chir. 42, H. 2	5	refraktär
3.	1905	Sauthier u. Durous	Arch. provin. de chir. 1905 Ref. M. m. W. 1905 p. 2147	keine	besondere Besserung
4.	1902	Goubbe	Ref. F. VI., 6 S. 266; Americ. Röntg. Soc. XII. 1902	20	6 mal guter Erfolg
5.	1903	Hahn	F. VII. S. 102	1	subj. Besserung
6.	1906	Mader	Arch. f. Laryng. 18, H. 1 S. 1; M. m. W. 1906 S. 1586	1	Heilung annähernd
7.	1902	Pfahler	Philadelphia M. J. 1902		Kein Dauererfolg
8.	1896	Vogt	Ärztl. Vers. Hamburg 3. Nov. 1896	1	Schmerzen fast aufgehoben
9.	1905	Wendel	M. m. W. 1905 S. 2490 (cf. D. m. W. 1905 Nr. 44—51)		Dauerresultat!?
10.	1907	Wichmann	Ärztl. Ver. Hamburg 26. Nov. 1907	2	1 mal Abstoßung der Tumormassen; 1 mal Mißerfolg, wahrsch. zu schwache Bestrahlung

Einhorn, der Begründer der Radiumtherapie beim Speiseröhrenkrebs, bezeichnet seine früheren Versuche, das Ösophaguskarzinom mit Röntgenstrahlen zu bekämpfen, als vergeblich. Übrigens wurde die Mangelhaftigkeit der Tiefenwirkung der Röntgenstrahlen als ein Grund des Versagens dieser Therapie schon zu damaliger Zeit erkannt. Wendel schrieb 1905, daß die Hauptschwierigkeit der Röntgentherapie darin bestände, „eine für die Heilwirkung ausreichende Strahlenwirkung ohne Schädigung anderer Gewebe in die Tiefe zu senden". Man bemühte sich, diesem Übelstande abzuhelfen, und Dessauer kam bereits 1904 zu dem Schluß, daß es möglich sein müßte, so zu bestrahlen, daß die oberflächlichen Gebiete Haut und Zwischenschichten „jedenfalls nicht merkbar mehr dem therapeutischen Agens ausgesetzt werden als der tieferliegende Krankheitsherd".

Wendel versuchte 1905 die Strahlenwirkung dadurch an den Speiseröhrenkrebs gelangen zu lassen, daß er durch ein bis zu dem Tumor in die Speiseröhre eingeführtes Ösophagoskop bestrahlte. Diese Methode ist anscheinend von anderer Seite nicht benutzt worden, und das ist verständlich, sie hat nur historisches Interesse.

Bestrahlt wurde mit ziemlich weicher Röntgenröhre (Ehrhardtröhre). Die Schwierigkeit, die Längsachse des Ösophagoskopes genau in die Strahlenrichtung zu bringen, hebt Wendel selbst hervor, er meinte aber, dies gelänge „auch ohne besondere Vorrichtung bei einiger Aufmerksamkeit ganz gut".

Es handelte sich um einen 52 jährigen Patienten, der seit einigen Monaten an Schluckbeschwerden litt, Gewicht 114 Pfund. Die Stenose fand sich 37 cm hinter der oberen Zahnreihe. Sondierung. Patient lehnte Eingriff ab und verließ die Klinik. Nach 5 Monaten Gewicht 98 Pfund. Bei Ösophagoskopie findet man einen höckerigen, knolligen Tumor, der das Lumen verlegt. Bestrahlungen vom 20. Juli bis 8. August in 8 Sitzungen, die ersten beiden von 5 Minuten Dauer, die anderen 10 Minuten. Novokainanästhesie. Der Speichel wurde durch eine Speichelpumpe entfernt.

Wendel glaubte auch einen Erfolg feststellen zu können:

Jedenfalls hat die (mit Chinin und Arsen kombinierte) Behandlung den Erfolg gehabt, daß der Patient wieder feste, gut gekaute Speisen schlucken konnte, daß er in wenigen Tagen 3 Pfund an Gewicht zunahm, sich erheblich besser fühlte. Das Ösophagoskop ließ sich um etwa 3 cm tiefer einführen als vor der Behandlung. Eine Ulzeration war am Schluß der Behandlung nicht mehr sichtbar. Am 8. August wurde der Patient auf 4 Wochen entlassen, fand sich aber nach Verlauf dieser Zeit nicht wieder ein.

Steiner (Rom) zog 1907 Parallelen zwischen dem häufig rezidivierenden Zungenkarzinom und dem operativ nicht angreifbaren Ösophaguskrebs und betonte die Schwierigkeit, den tiefsitzenden Tumor mit genügenden Strahlenmengen zu treffen.

Die ungünstigen Erfahrungen und zum größten Teile ablehnenden Urteile über die Wirksamkeit der Röntgenstrahlen beim Ösophaguskarzinom zu damaliger Zeit konnten in der unvollkommenen Apparatur und in der mangelhaften Technik ihren Grund haben; in diesem Falle mußten sich die Erfolge bei Vervollkommnung der Apparate und der Bestrahlungstechnik bessern. 1910 berichteten Werner und Caan über 6 Fälle von Speiseröhrenkrebs, die sie mit Röntgenstrahlen behandelten. Nur bei einem Patienten trat Besserung ein. Bestrahlt wurde vom Rücken sowie vom Brustbein aus. Der Kranke verlor darauf seine vorher sehr starken Schluckbeschwerden, so daß von einer Gastrostomie Abstand genommen werden konnte. „Man war schließlich auch imstande, durch Sondierung eine rasche Erweiterung zu erzwingen". (!) Werner und Caan beurteilten dieses Ergebnis vorsichtig und wiesen mit Recht darauf hin, daß bekanntlich auch spontan, durch Zerfall des Tumors, die Permeabilität der Speiseröhre zunehmen kann.

Stewart empfahl 1913 die Einführung eines dünnen Silberrohres in die karzinomatöse Stenose des Ösophagus. Der Nutzen sollte erstens in der Wiederherstellung der oralen Ernährung, zweitens aber darin bestehen, daß bei der Bestrahlung von außen Sekundärstrahlen im Bereiche des Silberrohres entstehen, welche in dem Tumor zur Wirkung gelangen. Zunächst sollte die Lage des Rohres bei einer Durchleuchtung festgestellt und dann bei verschiedenem Strahleneinfall bestrahlt werden. Als Filter diente Aluminium von 4 mm Stärke. Diese Methode, welche an die alte Leydensche Intubation erinnert, ist anscheinend nur von Stewart allein versucht worden, was nicht Wunder nimmt, denn die Intubation ist gefährlich und wird nur in der Minderzahl der Fälle gelingen, und die Wirkung der durch das Silberrohr erzielten Sekundärstrahlen spielt keine wesentliche Rolle.

Von 19 Ösophaguskarzinomen, die außer mit Röntgenstrahlen auch mit Enzytoininjektionen behandelt waren, sah Werner 1914 in 10 Fällen eine monatelang anhaltende erhebliche Besserung und einmal einen seit ungefähr Jahresfrist bestehenden Erfolg.

Allgemein wurde bei dem tiefliegenden Ösophaguskarzinom die Vielfeldermethode

benutzt. Im Heidelberger Samariterhause z. B. wurden die Speiseröhrenkrebse mit Röntgenstrahlen von 5—8 Feldern aus bestrahlt. Bald begann auch die Fernfelderbestrahlung größere Verbreitung zu finden.

b) Grundlagen und Aussichten moderner Bestrahlungsweise.

Die Möglichkeit, das Ösophaguskarzinom mit 100% der H.E.D. unter Ausschaltung grober Schädigungen anderer Organe zu bestrahlen, ist sowohl bei den Krebsen des Halsteiles wie des Brustteiles der Speiseröhre durch die Vielfelder- und Fernfeldermethoden wenigstens theoretisch gegeben. Es kann aber nicht geleugnet werden, daß die Schwierigkeiten homogener Bestrahlung des Ösophaguskarzinoms auch unter Anwendung moderner Technik sehr große sind. Großfernfelder sind nicht ratsam, denn sie bedingen eine bedeutende, unerwünschte Mitbestrahlung der Nachbarorgane. Besonders bei Krebsen des Halsteiles der Speiseröhre wird man sich aus diesem Grunde nur des vergrößerten Fokushautabstandes, weniger des vergrößerten Feldes bedienen können. Die Krebse der oberen Enge der Speiseröhre oder gar die Karzinome des Pharynx liegen in gefährlicher Nähe des radiosensiblen Kehlkopfes, und die traurigen Erfahrungen, die mit der Röntgenbestrahlung des Larynxkrebses gemacht worden sind (Jüngling), sollten ein Warnungszeichen sein, auch die benachbarten Tumoren nur mit Vorsicht und unter sorgfältiger Abdeckung zu bestrahlen. Bei Krebsen des Brustteiles der Speiseröhre sind es besonders Trachea, Lunge, Thymus und Herz, ferner Milz, Nebenniere, welche von den Strahlen geschädigt werden können. Bei Speiseröhrenkrebsen jeder Lokalisation muß also mit Schädigungen gerechnet werden. Es ist Aufgabe der Bestrahlungstechnik und Dosierung, diese Schädigungen möglichst klein zu gestalten und bei Aufstellung des Bestrahlungsplanes die genannten Organe möglichst den direkten Strahlenkegeln zu entziehen, „möglichst", denn eine vollkommene Eliminierung ist natürlich nicht erreichbar.

Die Verschiedenheit der Medien, die von den Röntgenstrahlen passiert werden, ehe sie den Tumor treffen, wie die Weichteile der Brustwand und des Rückens, Rippen und Wirbelsäule, besonders aber der Luftgehalt der Lungen, erschwert die Dosierung. Die Verhältnisse liegen hier viel komplizierter als z. B. beim Uteruskarzinom, bei dem das Ergebnis iontoquantimetrischer Messungen und Tiefendosisberechnungen mit für die Praxis genügender Genauigkeit auf den Patienten übertragen werden können. Die Streustrahlung wird bei Ösophagusbestrahlungen, der lufthaltigen Räume des Thorax wegen, derart kompliziert zusammengesetzt, daß eine genaue Dosierung kaum möglich ist. Das Ziel einer „homogenen", also gleichmäßigen Durchstrahlung des Tumors und seiner Umgebung ist ebenfalls durch diese „Inhomogenität" der durchstrahlten Medien nicht in wünschenswerter Weise erreichbar.

Die „Karzinomdosis" von 90—120% der H.E.D. ist ein Begriff, mit dem wir zunächst noch arbeiten müssen. Die Ansicht, daß es keine Karzinomdosis in dem Sinne gibt, daß sich alle oder auch nur die Mehrzahl der Karzinome unter der Einwirkung dieser Strahlenmenge zurückbilden, ist allgemein. Holfelder spricht auch unsere Ansicht aus, wenn er betont, daß dasjenige, „was wir unter dem Namen Karzinom zusammenfassen, eine große Gruppe von Endstadien verschiedenartiger Krankheitsbilder darstellt, und daß die Möglichkeit der Krebsheilung außer in dem Vorhandensein beträchtlicher eigener Immunitätskräfte des Individuums auch von allerhand anderen mehr oder weniger ungeklärten und unbekannten biologischen Faktoren abhängt". Die Widerstandsfähigkeit des Körpers gegen den Krebs oder vielleicht die Malignität

des Karzinoms sind verschieden. Manchmal kommt die Krebskachexie schnell, manchmal spät, Metastasen entstehen frühzeitig, spät oder gar nicht. Wie kann man da erwarten, eine Karzinomdosis, eine Heildosis zu finden, die für alle Fälle gilt.

Die Erfahrung hat aber nicht für das Speiseröhrenkarzinom im besonderen, sondern für die Mehrzahl der Krebse überhaupt ergeben, daß bei Dosen, die sich von der sog. Karzinomdosis um 90—120% der H.E.D. entfernen, Erfolge kaum erwartet werden können. Es liegt daher nahe, die Erfahrung auch auf die Speiseröhrenkrebse zu übertragen. Die wenigen Autoren der neueren Zeit, die über die Röntgenbestrahlung des Speiseröhrenkrebses berichten, reden daher der Intensivbestrahlung das Wort. Holfelder meint, „die Ösophaguskarzinome erfordern sehr hohe Dosen". Zweifellos ist der Speiseröhrenkrebs den Röntgenstrahlen gegenüber wenig empfindlich.

Das Ösophaguskarzinom soll also sehr intensiv bestrahlt werden und läßt sich wiederum Krebsen anderen Sitzes gegenüber ganz besonders schwer intensiv bestrahlen. Dazu kommt, daß die Bestrahlungstechnik auf einer Reihe mehr oder weniger strahlenempfindlicher Organe Rücksicht zu nehmen hat, deren Schädigung vermieden werden muß. Es ergibt sich eine Aufgabe, die restlos zu lösen auch bei größter Sorgfalt unmöglich scheint.

Ein brauchbares Mittel, die richtige Zahl der Felder und ihre zweckmäßige Lage zu ermitteln, ist in dem Holfelderschen Felderwähler gegeben. Die Lage des Krebses wird bei der Durchleuchtung festgestellt und die Höhe seines Sitzes an der Haut des Kranken markiert. — Holfelder arbeitet mit kleinen länglichen Feldern, die „jedoch sehr gut gewählt sein müssen". Im Durchschnitt werden 5—7 Felder gebraucht. Wir haben mitunter kleine Felder mit vergrößertem Fokushautabstand (50 cm) verwandt. Ein unökonomisches Verfahren, durch welches aber die Tiefendosis vermehrt wird, ohne die hier unerwünschte größere Mitbestrahlung der Umgebung, wie sie bei Großfernfeldern eintreten müßte. Nur bei den seitlich der Wirbelsäule gegebenen Felder haben wir uns auch einer Vergrößerung des Feldes bedient.

Aber trotz der modernen Technik sind die Erfolge unbefriedigend geblieben, die Tiefenbestrahlungen haben die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht erfüllt. Holfelder berichtet 1923 über seine Erfolge der Röntgenbehandlung bei 12 Fällen. 5mal trat eine langanhaltende Besserung von mehr als Jahresfrist ein, aber keine Heilung. 2 Patienten starben an plötzlichem Blutsturze bei sonst völliger Beschwerdefreiheit. Leider war in diesen Fällen eine Sektion nicht möglich. Nach dem klinischen Verlaufe zweifelt Holfelder aber nicht daran, daß eine Gefäßarrosion infolge Röntgenschädigung die Ursache der tödlichen Blutung war. „Das Ösophaguskarzinom stellt uns eben vor derartig schwere technische Aufgaben, und die abweichenden Absorptionsverhältnisse der Lungen bringen eine solche Unsicherheit in die Tiefendosierung", daß es uns schwer gelingt, „zwischen der Skylla der Überdosierung und der Charybdis der Unterdosierung hindurchzusteuern. Es genügt ja, wenn an einer einzigen kleinen Stelle jener empfindlichen Gegend ein Zuviel von Röntgenstrahlen hingelangt, um den ganzen Erfolg in Frage zu stellen." Jedenfalls ist beim Ösophaguskarzinom bisher noch kein Dauererfolg nachzuweisen.

Wir haben nach intensiver Röntgenbestrahlung des Speiseröhrenkrebses niemals nennenswerte objektive Erfolge beobachtet. Von einem, wenn auch nur zeitlich begrenzten, Wiederaufblühen der Kranken war nicht die Rede. Die Schluckbehinderung besserte sich nicht, oder nur so unbedeutend und für so kurze Zeit, wie man dies auch bei unbestrahlten Fällen nicht selten beobachtet. Eine Verlängerung der Lebensdauer trat

nicht ein. Dagegen sahen wir nicht selten, daß kachektische Kranke die intensive Bestrahlung schlecht vertrugen.

Wenn wir das Erreichte kritisch würdigen, so müssen wir gestehen, wir sehen ein Fiasko, dem problematischem Nutzen der Bestrahlungen steht mitunter eine objektiv nachweisbare Schädigung gegenüber. Die Röntgentherapie als alleinige Behandlungsmethode des Ösophaguskarzinoms wäre demnach als nutzlos zu bezeichnen, wenn nicht in manchen Fällen ein Erfolg eintreten würde, der zu weiteren Versuchen anregt: das zeitweilige Aufhören der Schmerzen. Diese Beobachtung, die bereits Hahn zur Zeit des Beginnes der Röntgentherapie machte, ist der einzige Nutzen der Röntgenbestrahlung beim Speiseröhrenkrebs geblieben.

Es steht nicht fest, welche Dosen zur Schmerzbekämpfung ausreichen. Eine Intensivbestrahlung scheint dazu nicht erforderlich zu sein. Wir bestrahlen zur Zeit von zwei einander gegenüberliegenden Fernfeldern aus, das vordere Feld an der rechten vorderen Brustseite, das hintere an der linken Rückenseite befindlich. Die Lokalisation des Tumors erfolgt bei der Durchleuchtung. Fokushautabstand 50 cm, Feldgröße 15 × 15, $^2/_3$ H.E.D. Die Linderung der Schmerzen pflegt gewöhnlich bereits in einigen Tagen einzutreten, leider nicht in allen Fällen, oft genug bleibt die Bestrahlung auch in dieser Hinsicht wirkungslos.

Zu untersuchen wäre noch, ob durch die Röntgenbestrahlung der Metastasen des Ösophaguskarzinoms Besserung erzielt werden kann. Über nennenswerte Erfolge dieser Art wird nicht berichtet. In vielen Fällen, wohl der Mehrzahl, werden die Metastasen in vivo nicht nachgewiesen, auch nicht unter Anwendung der im Anfang der Arbeit erwähnten diagnostischen Methoden. Gelingt ihre Feststellung, so bleibt ein Versuch mit intensiver Röntgenbestrahlung das einzige, was therapeutisch überhaupt noch in Frage kommt, da das Radium gegenüber den Metastasen versagt. Viel ist leider nicht zu erhoffen.

Die großartige Entwicklung der Röntgenapparate, der Bestrahlungstechnik, der Dosierung und die Möglichkeit der Homogenstrahlung haben uns in der Bekämpfung des Speiseröhrenkrebses nur wenig gefördert. Die Frage, ob die Röntgenstrahlen geeignet sind, die Therapie mit Radium wirksam zu unterstützen, wird uns noch beschäftigen.

2. Radiumbestrahlung.

a) Übersicht über Methoden und Erfolge.

Sonden.

Die ersten Versuche, das Radium überhaupt therapeutisch zu verwenden, stammen von Strebel (1900), er verwandte es zur Lupusbehandlung. Tatsächliche Heilerfolge wurden im Jahre 1903 erzielt. Goldberg und London (Petersburg) und Exner (Wien) stellten gleichzeitig und unabhängig voneinander Versuche über die Wirkung des Radiums auf bösartige Tumoren an. Seit Exners und Holzknechts Mitteilungen begann das Interesse an dem Radium als neuem Heilfaktor in der Karzinomtherapie zu wachsen.

Am 29. Oktober 1903 berichtete Exner über eine ganze Reihe von Fällen, die mit Radiumstrahlen deutlich im günstigen Sinne beeinflußt wurden. In dieser Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften wurde erstmalig das Ösophaguskarzinom als geeignetes Objekt der Radiumtherapie bezeichnet. Exner führte folgendes aus:

Der Gedanke, andere inoperable Geschwülste, wie das Karzinom des Ösophagus, mit Radium zu behandeln, lag sehr nahe. Ich hatte bereits Gelegenheit, derartige Fälle zu behandeln, kann aber über die Fälle noch nichts Sicheres mitteilen. Ich verfahre in der Weise, daß ich ein geeignetes Radiumpräparat an der Spitze eines Ösophagusbougies befestige und nun die einzelnen Partien des Tumors bestrahle.

Nachdem einmal die heilende Wirkung des Radiums auf Karzinome, zunächst allerdings auf Hautkrebse, beobachtet worden war, lag der Gedanke nahe, auch bei dem Ösophaguskarzinom das Radium anstatt der Röntgenstrahlen zu benutzen. Der Vorteil, das Präparat vermittels einer Sonde in die Nähe der Geschwulst zu bringen, lag auf der Hand. Statt große Körperpartien nutzlos mit Röntgenstrahlen zu durchstrahlen, von denen nur ein Teil die Neubildung traf, war bei dem Radium die Möglichkeit gegeben, alle Strahlen elektiv auf den Tumor und seine Umgebung wirken zu lassen.

Exners Technik bestand darin, daß ein Ösophagusbougie derartig „adjustiert" wurde, daß an das untere Ende eine das Radium enthaltende, zylindrisch geformte Hartgummikapsel fest angeschraubt wurde. Da Exner nur über eine geringe Menge Radium verfügte (60 mg), konnte nur eine Radiumkapsel angefertigt werden. Die Kapsel bestand aus 2 Hartgummihohlzylindern, die ineinanderpaßten und zwischen sich das Radium bargen; dieses war, nach dem Vorschlag von Holzknecht, in Damarlack eingeschlossen. Der Dickendurchmesser der Radiumkapsel entsprach der Bougienummer 16.

Exner führte bereits in seiner Veröffentlichung 1904 aus, daß seine Hoffnung, das Ösophaguskarzinom mit Radium zu bessern, nicht allein auf der Rückbildung der Geschwulst auf Grund der Strahlenwirkung beruhe, sondern auch auf der Nekrotisierung des Tumors. Diese Überlegung spielt, wie wir sehen werden, auch bei der modernen Technik eine Rolle. Exner hatte nämlich an anderen Tumoren die Beobachtung gemacht, daß unter der Einwirkung des Radiums tiefe Höhlen in dem Tumor entstehen können und zog daraus folgenden zutreffenden Schluß: „Wenn es, wie vorauszusehen war, gelang, auch das Karzinom des Ösophagus bis zu einer gewissen Tiefe zur Nekrose zu bringen, so konnte auf diesem Wege die Stenose gebessert werden."

Über die 6 angeführten Fälle wird folgendes berichtet:

Fall 1 wurde 7 mal, je 20 Minuten bestrahlt; der zweite Fall 4 mal je ½ Stunde; Fall 3 zunächst 6 mal je ½ Stunde, nach 9 Tagen 2 neue Bestrahlungen von gleicher Dauer. In diesen 3 Fällen wurde Besserung der Schluckfähigkeit erzielt. Die Sondierung mit stärkeren Sonden bis zu 23 bzw. 26 wurde möglich. Über die anderen Fälle fehlen genauere Angaben. Ein Patient starb 3½ Monate nach Beginn der Behandlung.

Exner schließt mit den Worten: „Ich hoffe in der geschilderten Weise einen Weg eingeschlagen zu haben, auf welchem es möglich sein wird, in Fällen, die bei noch permeabler Stenose zur Behandlung kommen, die Gastrostomie umgehen zu können. Hierzu wird vor allem eine Verbesserung der Technik nötig sein, so zwar, daß für die verschieden weiten Stenosen auch verschieden starke Radiumkapseln zur Verfügung stehen."

Damit hat Exner bereits im Anfang dieser therapeutischen Versuche den Kernpunkt der Radiumsondenbehandlung des Ösophaguskarzinoms richtig erkannt. Bei permeablen Stenosen, und zwar nur bei diesen ist, wie wir sehen werden, die Radiumbehandlung mit Sonden erfolgreich.

Im selben Jahre (1904) gab Einhorn (Neuyork) unabhängig von Exner ebenfalls einen Radiumbehälter zur Bestrahlung des Ösophaguskarzinoms an. Am 22. Januar demonstrierte er diese Behandlungsmethode in der Sitzung deutscher Ärzte in Neuyork an einem Kranken. Einhorns Radiumsonde bestand aus einem Schlauch, der

mit einem Mandrin versehen war, und einer Kapsel, deren unterer Teil aus Hartgummi und deren oberer Teil aus Metall gefertigt war. Beide Hälften ließen sich zusammenschrauben. Der obere Teil der Kapsel endete in einem Fortsatz mit Schraubengewinde und paßte in den Schlauchteil hinein (Abb. 2). Die Kapseln kamen in 3 verschiedenen Größen in Anwendung, damit eine Anpassung an die Enge der Striktur möglich war.

Das „Radiumfläschchen" wurde in die Kapsel des Ösophagusbehälters hineingetan und fest zugeschraubt; der Apparat wurde dann mit Mandrin in warmes Wasser getaucht und den Patienten im Sitzen in den Ösophagus hineingeführt und bis zur Striktur vorgeschoben. Beim Einführen sollte das Instrument schreibfederartig in der rechten Hand gehalten und dabei ein Druck auf den Schlauch und Mandrin ausgeübt werden, um ein Verschieben der beiden Teile gegeneinander zu verhindern. Wenn die Striktur erreicht war, was man durch den sich bietenden Widerstand erkannte, wurde der Mandrin entfernt. Das Schlauchende wurde nun mittels Fadens am Ohre des Patienten befestigt. Die Sonde blieb eine halbe oder eine ganze Stunde liegen. Bei dieser Radiumapplikation sollte „weder bei Einführung dieses Instrumentes noch bei den Prüfungen mit den Bougies je Gewalt angewandt" werden.

Abb. 2. Einhorns Radiumsonde zur Bestrahlung des Ösophaguskarzinoms.

1904 konnte Einhorn die ersten Erfolge dieser lokalen Radiumbehandlung mitteilen. 9 Patienten wurden behandelt, bei 6 konnte deutlich ein Weiterwerden der karzinomatösen Striktur nachgewiesen werden, 1905 berichtete er über 7 weitere Fälle (siehe Tabelle 2, Seite 680).

Die Besserung der Strikturbeschwerden trat gewöhnlich bereits eine Woche nach eingeleiteter Behandlung, zuweilen noch früher ein. Subjektiv fühlten sich die Kranken besser als vor der Behandlung: 5 konnten wieder schlucken; 3, bei denen die Permeabilität der Striktur erreicht wurde, vermochten sogar halbflüssige und selbst feste Speisen zu sich zu nehmen. Eine Schmerzlinderung konnte bei 5 von den 6 behandelten Patienten konstatiert werden.

Zu den ersten, die den Speiseröhrenkrebs mit Radium bekämpften, gehörte ferner Sommer. Er erzielte (1904) einen vorübergehenden Erfolg bei einem inoperablen Carcinoma oesophagi mit Übergreifen auf den Kehlkopfeingang.

In Frankreich wurde die Sondenbestrahlung vielfach versucht. Guisez und Barcat (1909) ließen sich bei ihren Versuchen besonders von dem Gedanken leiten, daß das Ösophaguskarzinom einen dem Hautkrebs ähnlichen histologischen Aufbau zeigt. Ihre Technik war folgende:

Es wurde zunächst 0,01 g Radiumbromid, das in einem Doppelröhrchen aus Silberblech von je 0,4 mm Dicke eingeschlossen und mit einem Silberdraht am Ende einer Ösophagussonde fixiert

Tabelle 2. Einhorn, Tabelle der im Deutschen Hospital mit Radium behandelten Fälle von Ösophaguskrebs (1905).

Nr.	Name	Alter	Wie lange behandelt?	Bemerkungen
1.	A. S.	75 Jahre	Vom 10. Nov. bis 20. Jan. 1905	Frei von Schmerzen, kann flüssige und halbflüssige Nahrung genießen
2.	Anna S.	52 Jahre	Vom 22. Febr. bis 9. März 1905, 16 Tage	Pat. fühlt sich etwas besser
3.	Abraham G.	55 Jahre	Vom 9. März bis 6. April 1905, 27 Tage	Pat. hat sich bedeutend gebessert; er konnte besser schlucken und hatte keine Schmerzen
4.	Anna K.	38 Jahre	Vom 22. März bis 20. Apr. 1905, 30 Tage	Pat. hat zugenommen, konnte jetzt halbflüssige u. selbst feste Speisen genießen
5.	Celia M.	39 Jahre	Vom 6. bis 28. April 1905, 23 Tage	Pat. fühlt sich besser, kann jetzt halbflüssige und auch etwas feste Speisen genießen
6.	Lina Z.	50 Jahre	Vom 13. bis 28. April 1905, 16 Tage	Pat. kann jetzt selbst feste Nahrung zu sich nehmen; hat 8 Pfund zugenommen
7.	Bessie B.	Etwa 53 J.	Vom 10. bis 28. April 1905, 19 Tage	Schluckfähigkeit hat sich nicht besonders gebessert. Hat einige Male etwas blutig gefärbten Schleim hauptsächlich nach der Radiumbehandlung herausgewürgt; leichte Temperatursteigerung ab und zu

wurde, während 2—3 Stunden, später 0.05 g Radiumbromid während 3—6 Stunden appliziert. Die Sitzungen wurden möglichst hintereinander abgehalten, um eine kontinuierliche Einwirkung zu erzielen.

In den 5 zur Behandlung gelangten Fällen zeigte sich immerhin eine nennenswerte Besserung. Nach 2—3 Sitzungen wurde ein bis dahin undurchgängiger Ösophagus für weiche Sonden durchgängig. Einmal wurde ein rasches Verschwinden des gangränösen Geruches der Zerfallsprodukte des Karzinoms bewirkt.

Das Interesse an den Erfolgen dieser Therapie wuchs, die Erfahrungen vergrößerten sich und 1913 konnte Guisez (Paris) auf dem internationalen Kongreß in London bereits über 35 derartig behandelte eigene Fälle berichten. Er hatte bereits die für die Sondenbestrahlung wichtige Beobachtung gemacht, daß nicht bei allen Formen des Speiseröhrenkrebses mit dieser Technik Erfolge zu erwarten sind und trug der Tatsache, daß nur die Teile des Tumors, die in unmittelbarer Nähe des Radiumpräparates lagen, von den Strahlen wirksam beeinflußt werden, in der Auswahl seiner Patienten Rechnung. „Wir wählten dafür allerdings nur die günstig gelegenen und applizierten das Radium nur in den Fällen, in denen es noch möglich war, die mit dem Radiumträger versehene Sonde mitten in die karzinomatöse Stenose einzuführen." Es nimmt nicht wunder, wenn bei dieser Indikationsstellung die Erfolge besonders gut waren. Guisez teilt u. a. folgendes mit:

„Die palliative Wirkung machte sich in allen Fällen in evidenter Weise bemerkbar; bei einer gewissen Zahl von Fällen, etwa $^1/_3$ aller, erzielten wir eine so große Besserung, daß die Ernährung wieder in normaler Weise möglich wurde, und zwar Monate hindurch."

3 Fälle wiesen „alle Zeichen der Heilung" auf:

Fall 1: 52 Jahre. Seit Monaten Schluckbeschwerden. Abmagerung: 25 Pfund. Ösophagoskopische Untersuchung und Probeexzision ergibt Februar 1911: ein Tumor im mittleren Drittel der Speiseröhre: Drüsenepitheliom. Tägliche Applikation des Radiumträgers. 8 Sitzungen von je 4 bis 5 Stunden Dauer.

Bessere Schluckfähigkeit, Verkleinerung des Tumors. Mai 1911 erneute Radiumbestrahlung (7,5 cgr), während 5 Stunden an 5 aufeinanderfolgenden Tagen.

Später lokale Dilatation, Besserung des Befindens. Nach 6 Monaten hat Patient sein normales Gewicht wieder erreicht.

April 1913 Patient in gutem Zustande (2 Jahre).

Fall 2: November 1911. Patient seit 6 Monaten Schluckbeschwerden. Ösophagoskopische Untersuchung: leicht blutender Tumor 1 cm über der Kardia. Histologische Untersuchung: Zylinderzellen, Epitheliom.

April 1912: Verschwinden aller Granulationen. Auf der Höhe der Ulzeration besteht graunarbige Oberfläche. Patient ernährt sich normal. Allerdings muß alle 4—5 Wochen eine Dilatation vorgenommen werden.

Fall 3: 53 Jahre. Mai 1912. Seit einiger Zeit Schluckbeschwerden. Ösophagoskopische Untersuchung: Tumor 8 cm vom Beginn der Speiseröhre entfernt. Histologisch kleinlappiges Plattenepitheliom.

Nach 2 Bestrahlungsserien Schluckakt normal. Patient nimmt Beruf als Klempner wieder auf. Probeexzision 1912: es scheint, als ob in diesem besonderen Falle der Tumor seine histologische Natur verändert habe. Die epitheliomatöse Neubildung scheint eine Transformation in eine entzündliche Geschwulst durchgemacht zu haben.

Februar 1913. Ösophagoskopischer Befund: keine Geschwulst mehr nachweisbar „an Stelle des Tumors rote infiltrierte verhärtete Mukosa". In diesen Fällen kann man so weit gehen, fast von Heilung zu sprechen.

Eines der besten überhaupt erzielten Ergebnisse stellt der Fall von Guisez und Laboure dar, den diese Autoren am 6. Mai 1913 auf dem Congrès français d'Oto-Rhino-Laryngologie demonstrierten. Es handelt sich um einen Kranken, der seit $2^1/_2$ Jahren klinisch die Zeichen der Heilung aufwies. Die Diagnose war vermittels Ösophagoskops gestellt, es handelte sich um einen Tumor im oberen Drittel der Speiseröhre. Nach 3 Bestrahlungsserien wurde die Schluckfähigkeit gebessert, und seit länger als 2 Jahren waren Ernährungsweise und Lebensführung des Kranken völlig normal.

Die Unmöglichkeit, bei engen Stenosen den unteren Teil des Tumors wirksam bestrahlen zu können, veranlaßte Sticker (1913), das Radiumpräparat retrograd durch eine Magenfistel zum Ösophagus einzuführen. Die schwierige Technik fand keine Nachahmer.

Schindler (1913) benutzte statt Radium Mesothorium und bestrahlte mittels Bougie, in welches das Präparat eingefügt war. Die Wirkung des Präparates auf lebendes Gewebe war erprobt, sein Radiumträger also, nach dem Ausdruck von Krönig und Friedrich, „biologisch geeicht".

Wickham und Degrais (Paris, 1913 und 1914) lokalisierten das Karzinom durch Ösophagoskop und bestrahlten die Kranken 2—3 Stunden mit Radiumsonde. Die Erfolge waren oft befriedigend. „Sehr rasch wurde der Durchgang der Speisen leichter, Schmerzen verringerten sich, der Patient fühlte sich wesentlich erleichtert. Wir konnten Fälle beobachten, die sich seit mehr als 3 Jahren in gutem Zustande hielten."

Unter 53 mit Radium behandelten Tumoren hatten Schüller und Sparmann 1913 3 Ösophaguskarzinome und einen Kardiakrebs und berichteten darüber u. a. folgendes:

F. W., 61 Jahre. Stenosis Ösophagi (Cardiae). Probeexzision: Adenokarzinom. Seit 3 Monaten Schluckbeschwerden. Gewichtsabnahme um 11 kg. Kann nur breiige und flüssige Nahrung zu sich nehmen. Ösophagoskopie: Knapp oberhalb der Kardia ein höckriger stenosierender Tumor.

Behandlung mit Radiumbougie. Dauer der Behandlung 10 Wochen. Anzahl der Sitzungen 22. Einzeldosiszeit: 45 Minuten bis 2 Stunden; Einzeldosismilligramm 8,30,50; Intervalle 1—11 Tage; Gesamtmilligrammstunden 937. 2-mm-Silberfilter.

Ergebnis: Während im Anfang der Behandlung die Stenose sich etwas zu erweitern schien,

verengte sie sich bald wieder. Gewicht in den ersten 5 Wochen 3 kg Zunahme, dann Abnahme. In dem einige Monate später erscheinenden Bericht über die Spätresultate teilt Sparmann den Tod dieser Patientin mit.

Frau Z. A. Schluckbeschwerden, seit 5 Monaten kann nur flüssige Nahrung geschluckt werden. Ösophagoskopie: In 25 cm Entfernung von der Zahnreihe ein zerklüfteter, zirkulärer, stenosierender, leicht blutender Tumor. Probeexzision: Plattenepithelkarzinom.

Radiumbehandlung mit Radiumbougie. Dauer der Behandlung 5 Wochen: Anzahl der Sitzungen 11, Einzeldosiszeit: meist 1 Stunde. Einzeldosismilligramm 30,50. Intervalle: meist jeden 2. Tag. Gesamtmilligrammstunden: 490. Filter 2 mm Silber.

Ergebnis: Schluckbeschwerden zeitweise gebessert. Nach der 5. Bestrahlung starke Schmerzen, vermehrte Schluckbeschwerden, dann wieder Besserung. In 4 Wochen 1,4 kg Gewichtszunahme. Subjektiv fühlt sich Patientin während der Radiumbehandlung „sehr wohl".

Sparmann teilt in dem einige Monate später erscheinenden Bericht mit, daß der subjektive und objektive Befund seitdem der gleiche geblieben sei.

Abb. 3. Czerny-Caansche Radiumsonde. (b Radiumkapsel mit Kugel, die ein Durchgleiten der Kapsel durch die Stenose verhindern soll, der Königsberger chir. Klinik.)

66 Jahre alter Mann: Seit 3 Monaten Schluckbeschwerden. Ösophagoskopie: 34 cm hinter der Zahnreihe, vorwiegend an rechter Wand sitzender, leicht ulzerierter Tumor, Probeexzision: verhornendes Plattenepithelkarzinom.

Gastrostomie, darauf Radiumbehandlung mit Bougie. Dauer der Behandlung 10 Wochen Anzahl der Sitzungen 22. Einzeldosiszeit: 45 Minuten bis 2 Stunden. Einzeldosismilligramm: 8,30,50. Intervalle: 1—3—14 Tage. Gesamtmilligrammstunden: 807. Filter: 2 mm Silber oder 2 mm Ebonit.

Ergebnis: langsame, aber stete Besserung des Allgemeinzustandes. Gewichtszunahme um 2 kg. Nach 6 Wochen auch röntgenologisch wesentliche Besserung zu konstatieren. Wieweit die Ausschaltung durch Gastrostomie, wieweit die Bestrahlung die Besserung bewirkten, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen. Wird als der beste Erfolg bei den Ösophaguskarzinomfällen bezeichnet. Über das weitere Schicksal dieses Patienten konnte Sparmann nichts berichten.

44 Jahre alter Mann: Seit 5—6 Monaten Schluckbeschwerden. Ösophagoskopie: 27 cm hinter der Zahnreihe an der Hinterwand des Ösophagus ein stenosierender, fast zirkulärer Tumor. Probeexzision: verhörnendes Plattenepithelkarzinom. Radiumbehandlung mit Radiumbougie. Dauer der Behandlung: 8 Wochen; 15 Sitzungen; Zeit: 45 Minuten bis 1½ Stunden. Einzeldosismilligramm: 30, meist 50; Intervalle: meist 2 Tage; Gesamtmilligrammstunden: 755 Filter, 2 mm Silber.

Ergebnis: Andauernde Besserung der Stenose. Nach 4 Wochen geht Bougie 15 glatt durch die Stenose durch. Allgemeinbefinden wesentlich gebessert.

Wie Sparmann einige Monate später mitteilte, kam es wiederum zu einer wesentlichen Verengerung der Stenose.

Die Erfolge waren nicht groß, entsprachen jedenfalls nicht den Ergebnissen

der Franzosen. Dabei muß aber betont werden, daß letztere die besten Fälle aus einem größeren Material mitteilen. Erfolge, die denen von Guisez und Labouré und Wickham und Degrais gleichkommen, sind überhaupt zu damaliger Zeit von anderen Autoren nicht erzielt worden.

Abbé (Neuyork) behandelte während 10 Jahren 750 Fälle mit Radium, darunter eine Anzahl Ösophaguskarzinome. Ihm standen ziemlich große Mengen Radium zur Verfügung, nämlich 150 mg Radiumbariumchlorid und 250 mg reines Radiumbromid. Seine Ausführungen auf dem internationalen Kongreß in London 1913, soweit sie sich auf die Radiumbehandlung des Speiseröhrenkrebses beziehen, gipfeln in dem Satze: „Beim Ösophaguskarzinom erzielt man häufig zeitweilige Besserung, wenn von einer Heilung auch keine Rede sein kann."

Abb. 4. Einführung der Czerny-Caanschen Radiumsonde.

Abb. 5. Czerny-Caansche Sonde in situ nach Entfernung des Schlauches.

Aus der Schmid entnommenen Statistik Janeways ergibt sich, daß ein Fall von Ösophaguskarzinom seit Jahresfrist „geheilt", 6 Fälle gebessert, 15 Fälle nicht gebessert waren.

In Deutschland gaben 1913 Czerny und Caan ein Instrument zur lokalen Bestrahlung des Ösophaguskarzinoms mit Radium an. Es besteht aus einer mit einer Skala versehenen Magensonde, durch welche ein ebenfalls graduierter, 2 mm Durchmesser besitzender Mandrin hindurchgezogen werden kann. Der Mandrin hat die doppelte Länge der Hohlsonde, an seiner Spitze befindet sich eine abnehmbare, 4 cm lange und 6—9 cm breite, nach unten sich verjüngende Zelluloidkapsel. Für die Einführung des Instrumentes wurden folgende Vorschriften gegeben: „Nachdem das Hindernis erreicht ist, wird die Tube vorsichtig (!) durch Tast- und Drehbewegungen möglichst tief in die Stenose eingeführt". Die Hohlsonde wird über dem Mandrin zurückgezogen, der zum Fixieren und später zum Zurückziehen des Radiumapparates dient (Abb. 4 und 5). Das Instrument kann bis zu 2 Stunden liegen bleiben, ohne daß es stärkere Reizerscheinungen macht. Die Einführung soll zur Verhütung einer Mediastinitis in Intervallen von 3—5 Tagen vorgenommen werden.

Wendel bestrahlte 2 Patienten mit 137 mg Mesothorium direkt von der Speiseröhre aus. Die einzelnen Sitzungen dauerten 2—3 Stunden. Zwischen 2 Sitzungen lag mindestens eine Woche Pause. Bei der Sektion des einen Patienten, welcher aus anderer

Ursache später ad exitum kam, zeigte sich, daß die Speiseröhre zwar durchgängig, aber das Karzinom nicht geheilt war.

Barcat (Paris) nahm auf Guisez' Veranlassung die Radiumbehandlung des Speiseröhrenkrebses wieder auf und berichtete 1915 über seine Erfolge:

Bei 10 Fällen Radiumsonde, 5 ctg Radium in 5—6 Sitzungen, insgesamt 24—28 Stunden. Nur vorübergehender palliativer Erfolg. Zu geringe Radiummenge. — In 4 Fällen, die mit 5—10 ctg Radium behandelt wurden, durchaus ermutigende Erfolge. In einem von diesen Fällen erfolgte nach den 4 ersten Sitzungen ein derartiger Rückgang der Neubildung, die 13 cm oberhalb der Kardia ihren Sitz hatte und die Ernährung fast unmöglich machte, daß bei der Ösophagoskopie an der Stelle des Tumors nur noch ein weißes, narbiges Gewebe wahrzunehmen war, und der Kranke wieder Ochsenfleisch und Gemüse essen konnte. Leider unterzog sich der Kranke nicht mehr einer weiteren Behandlung, die natürlich notwendig gewesen wäre, so daß das Resultat schließlich nur darin bestand, daß das Leben des Kranken um 6 Monate verlängert wurde. Das ist zwar ein relativer, aber immerhin insofern bemerkenswerter Fall, als bei Beginn der Behandlung der Tod des Kranken durch Inanition sehr nahe bevorstand.

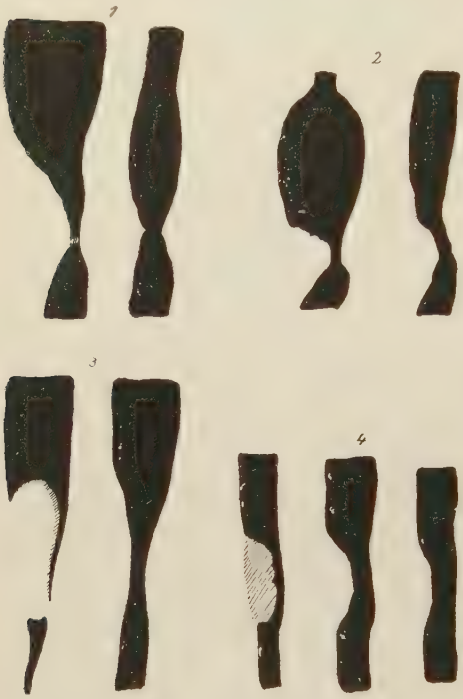


Abb. 6. Erweiterungen von Krebsstenosen durch Radiumbestrahlungen (nach Lewin).

Bei den 3 anderen noch in Behandlung befindlichen Fällen ist das Schlucken viel leichter geworden, und in einem von diesen Fällen ging der Tumor soweit zurück, daß mit Hilfe der Ösophagoskopie der ursprüngliche Sitz nicht mehr zu erkennen war; der Kranke nahm an Gewicht zu, sein Aussehen besserte sich, und man darf wohl in diesem Falle an einen Dauererfolg denken.

Gewisse symptomatische Erfolge erzielten Harmer und Pinsch (London) 1914. Bestrahlt wurde mit durch 1 mm Silber gefiltertes Radium. Die Schluckfähigkeit der Kranken wurde für eine Zeitlang gebessert und die Ulzeration nahm ab, so daß auch der Auswurf übelriechender Massen nachließ. „Carcinoma of the oesophagus had been temperarily benefited, but he had not seen a case of arrest of the growth." Pinsch klagt besonders über das vorgeschrittene Stadium der Erkrankung, in dem die Patienten in seine Behandlung kamen (Radiuminstitut London). Wie Guisez machte er die Erfahrung, daß nicht alle Fälle für die Radiumbehandlung mit Sonden gleich gut geeignet sind. „In den Fällen, wo ein vollständiger Verschluß noch nicht eingetreten war, und die Möglichkeit bestand, das Radium ordentlich in das Lumen der Neubildung einzuführen, war eine deutliche, wenn auch vorübergehende Besserung zu konstatieren; daß diese nicht durch die rein mechanische Dilatation der Striktur durch den Apparat bedingt war, geht daraus hervor, daß die Besserung der Schluckbeschwerden bis zu 6 oder sogar 9 Monaten nach der Beendigung der Behandlung anhielt. Von 9 Fällen wurden 4 gebessert, 4 nicht gebessert, einer entzog sich weiterer Behandlung."

Ein relativ großes Material stand Lewin zur Verfügung. Auf dem Kongreß für innere Medizin 1914 konnte er über etwa 35 mit Radium behandelte Ösophagus- und Kardiakarzinome berichten. Besserung wurde erzielt, namentlich Beseitigung der Stenosenbeschwerden über Monate hindurch. Die Verkleinerung der Tumoren und die Erweiterung der Stenose waren auch röntgenologisch zu verfolgen (Abb. 6).

Die Ergebnisse der Bestrahlungen waren beim Ösophaguskarzinom besser als beim Kardiakrebs.

„Aus meinem großen Material gerade von Ösophaguskarzinomen habe ich mehrere Fälle von vollständiger Beseitigung der Stenosenbeschwerden gesehen, die mehrere Monate andauerten und den Patienten wieder eine genügende Nahrungsaufnahme ermöglichten. Es sind dies Fälle, in denen feste Nahrung überhaupt nicht mehr genommen werden konnte, und die jetzt ohne Schwierigkeiten die so sehr entbehrten festen Speisen wieder zu sich nehmen können. Was ich aber besonders hervorheben möchte, ist ein Fall, der jetzt seit 6 Monaten nach Abschluß der Behandlung vollkommen beschwerdefrei ist und klinisch als geheilt bezeichnet werden kann. Ein Erfolg, der meines Wissens durch keine Therapie in einem solchen Fall erzielt wurde."

Knox (1914) sah am Krebshospital in London gewisse, wenn auch bescheidene Erfolge der Radiumbehandlung. „Eine Anzahl Patienten haben an Gewicht zugenommen und den Gebrauch der Speiseröhre wieder erhalten, bis sie dann schließlich infolge eines Sekundärgewächses im Mediastinum gestorben sind."

Werner hatte 1914 von 8 mit intraösophagealen Mesothoriumbestrahlungen einen, längere Zeit anhaltenden, Erfolg gesehen. In dieser Veröffentlichung, wie auch in seinen späteren (1923) werden die Schwierigkeiten zweckmäßiger Bestrahlung und die Gefahren der intraösophagealen Bestrahlungen mit radioaktiven Substanzen besonders betont.

Wetterer empfahl 1919 die Sondenbestrahlung, ohne deren Nachteile zu verkennen. Immerhin hält er das Ösophaguskarzinom in manchen Fällen für ein dankbares Objekt der Radiumbehandlung.

Loeper (1921) beobachtete 2 Kranke, bei denen nach den Bestrahlungen (40 mg radioaktive Substanz, 10–12 Stunden Bestrahlungsdauer) die Schluckbehinderung sich besserte und der Allgemeinzustand sich hob. Bei einem dieser Patienten, einem Missionar, ging die Besserung soweit, daß der Kranke trotz seines sicheren Karzinoms mehrere Monate seiner Tätigkeit in Afrika oblag, ehe er sich einer neuen Behandlung unterzog. Trotzdem hält Loeper die erzielten Erfolge in bezug auf die große Zahl der mit Radium behandelten Kranken für spärlich, immerhin sei die Radiumtherapie diejenige Behandlungsweise, auf welche „on a fondé et on fonde, à juste titre, de grandes espérances".

Bewertung der Sondenbestrahlung.

Bei den Versuchen, die zahlreiche Autoren mit der Radiumbestrahlung des Ösophaguskarzinoms mit Sonden machten, traten die Nachteile dieses Verfahrens in Erscheinung. Besonders unangenehm ist der Reiz, der durch die Sonde verursacht wird, und der so quälend ist, daß die Patienten gewöhnlich nicht imstande sind, die Sonde genügend lange zu behalten. Rupp z. B. schreibt seine Mißerfolge bei der Bestrahlung diesem Umstande zum großen Teile zu: „Die auftretende starke Sekretion stört außerordentlich, und oftmals wird das Präparat herausgewürgt, dessen erneute Einführung immer recht qualvoll für den Patienten ist." Auch Schlesinger meint in Übereinstimmung mit vielen anderen Autoren, „daß die Erfolge beim Krebs der Speiseröhre nicht die nämlichen sind, liegt an der Unmöglichkeit, die mit dem Radium armierte Sonde mehrere Stunden hintereinander in der Geschwulst liegen zu lassen". Der Reiz der Sonde bedingt aber nicht nur eine Unannehmlichkeit für den Kranken, sondern kann sogar zu einer Gefahr werden. Stamer hatte den Eindruck, „daß das längere Liegenlassen der Sonde, ohne welche eine einigermaßen genügende Bestrahlung nicht möglich ist, leicht zur Reizung des Tumors, insbesondere zur Infektion desselben führen kann, worauf eine fieberhafte Mediastinitis entsteht, die zwar nach einiger Zeit in der Regel zurückgeht, aber die Behandlung aufhält."

Man hat sich bemüht, den störenden Reiz der Sonde nach Möglichkeit auszuschalten. Bis zu einem gewissen Grade trug bereits Einhorn diesem Umstande Rechnung. Die Einführung des Radiumpräparates nahm er, wie wir gesehen haben, mit einem durch Mandrin gesteiften Gummischlauch vor. Nachdem das Radium in die Enge eingeführt war, wurde der Mandrin entfernt, und nur der weiche Gummischlauch blieb liegen. In besserer Weise wird das Ziel, dem Kranken die Qual der Sonde zu erleichtern, von dem Czerny-Caanschen Instrument (Abb. 3) erreicht, bei dem nach der Applikation des Radiums in die Tumorenge die eigentliche Sonde entfernt wird, und nur ein dünner, biegsamer Mandrin das Herausnehmen des Radiums ermöglicht. Trotzdem aber ist das stundenlange Liegen auch dieser Sonde eine Unannehmlichkeit, die nicht von allen Kranken ertragen wird.

Dieser Nachteil der Sondenbestrahlung für die Patienten könnte in Kauf genommen werden, vorausgesetzt, daß es mit dieser Methode in allen Fällen oder wenigstens in der Mehrzahl gelingt, den Tumor wirksam zu beeinflussen und die Beschwerden der Kranken zu lindern. Die wesentlichste Frage ist also die, ob es mit der Sonde möglich ist, das Radium in die Karzinomenge, also in unmittelbare Berührung mit der Gesamtoberfläche des Tumors zu bringen. Nur in denjenigen Fällen nämlich, in denen die Einführung des Radiumpräparates in die Krebsstenose gelingt, kann eine intensive Einwirkung der Radiumstrahlen auf den Tumor erwartet werden. Liegt das Radiumpräparat oberhalb der karzinomatösen Enge, so wirken die Strahlen fast ausschließlich auf die unveränderte Schleimhaut. Daß auch bei intensiver Bestrahlung mit solch fehlerhafter Technik nur selten Perforationen des Ösophagus auftreten, wird aus dem Umstand verständlich, daß das Radium in dem ektatischen Speiseröhrenabschnitt oberhalb der Stenose, der meist reichlich Schleim und verschluckten Speichel enthält, von der normalen Wand mehr oder weniger entfernt liegt. Wird dadurch auch die Gefahr derartiger, fehlerhafter Bestrahlungen geringer, so kann natürlich eine günstige Beeinflussung des Karzinoms nicht erwartet werden. Loeper hat diese Tatsache mit folgenden Worten gekennzeichnet: „Le canal oesophag. n'admet malheureusement pas toujours le tube dans le trajet néoplasique lui-même. La masse de la tumeur reste en dehors de l'action du radium."

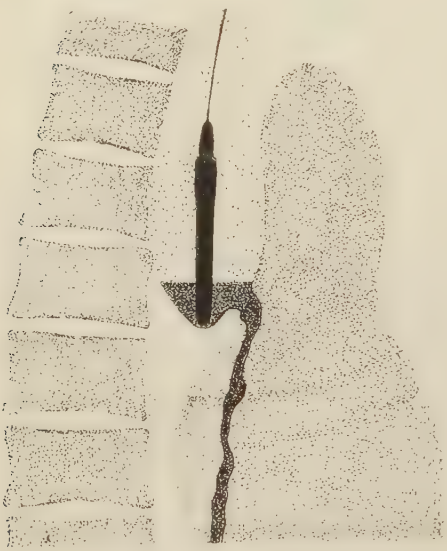


Abb. 7. Falsche Lokalisation des Radiums bei enger Stenose.

Guisez trug diesem Umstande Rechnung und sichtete sein Material dahin, daß nur diejenigen Fälle bestrahlt wurden, bei denen die Einführung des Radiums in die Enge gelang. Man geht wohl nicht fehl in der Annahme, daß seine guten Erfolge nicht zum kleinsten Teil auf dieser planvollen Indikationsstellung beruhen.

Um uns davon zu überzeugen, wie oft die Sondenbestrahlung angebracht ist, haben wir vor einigen Jahren systematisch bei allen zur Behandlung kommenden Patienten die Einführung der Czerny-Caanschen Sonde vor dem Röntgenschirm versucht. Die Kranken erhielten einen Teelöffel ziemlich dicken Kontrastbreies zu

schlucken, so daß der Beginn der Stenose erkennbar wurde. Dann wurde während der Durchleuchtung die Sondierung vorgenommen. Deutlich erkennbar war die Sonde, deren Spitze durch den kleinen Kontrastbreischatten tauchte und sich ihren Weg durch die Stenose zu bahnen versuchte. Ohne Röntgenkontrolle kann man sich täuschen. Man hat das Gefühl, als ob die Sondenspitze in die Stenose eindringt, und kann dabei vor dem Röntgenschirm beobachten, wie der kleine Kontrastschatten, der den Beginn der Tumorstenose markiert, bei etwas kräftigeren Sondierungsversuchen ein wenig nach unten rückt, ohne daß die Sondenspitze in die Enge gelangt. Diese Täuschung tritt anscheinend in den Fällen ein, bei denen der karzinomatöse Speiseröhrenabschnitt noch nicht mit seiner Umgebung verbacken ist.

Abb. 8. Hochgradig stenosierendes Ösophaguskarzinom. (Fall 10 der Tabelle 3.)

Abb. 9. Derselbe Fall nach Radiumsondenbestrahlung bei richtiger Lokalisation des Radiums. (Fall 10 der Tabelle 3.)

Die Zahl der Fälle, in denen es gelang, mit der erforderlichen Vorsicht die Sonde durch die Stenose zu führen, war klein; nur in 15% gelang die Passage; nur in 15% war also die Möglichkeit gegeben, das Radium mit Sicherheit richtig zu lokalisieren. Meistenteils gelang es nicht, die Sondenspitze nennenswert in die karzinomatöse Stenose einzuführen. Abb. 7 zeigt Verhältnisse, die wir bei einer großen Anzahl dieser Versuche beobachtet haben.

Vor forcierten Sondierungsversuchen wird man sich zu hüten haben. Vor dem Röntgenschirm kommt die Unmöglichkeit, die Spitze des Instrumentes in einer gewünschten Richtung zu leiten, deutlich zum Bewußtsein. Der Eingang der Stenose sitzt auch häufig nicht trichterförmig in der Mitte der Speiseröhre, sondern, z. B. wenn das Karzinom nur eine Wandseite einnimmt, exzentrisch. Dazu kommt der Umstand, daß durch die divertikelartige Erweiterung der Speiseröhre oberhalb der Stenose Buchten und Taschen entstehen, in denen sich die Sonde fängt. Rücksichtsloses Sondieren bringt daher die Gefahr der Perforation mit sich.

Es kann demnach als Tatsache gelten, daß ein Teil der früheren unbefriedigenden Erfolge der Radiumbestrahlung beim Speiseröhrenkrebs an unserer Klinik wie auch an anderen durch Schwierigkeiten der Technik bedingt ist. Die Czerny-Caansche Radiumsonde wird bei engen Strikturen, wie sie bei unserem Material die Regel war, versagen.

Unsere Ergebnisse mit der Sondenbestrahlung waren dementsprechend nicht befriedigend, Erfolge (s. Tabelle 3 Fall 2, 10 und 13) wurden nur bei den Patienten erzielt, bei denen die Einführung des Radiums in die Stenose gelang. Nur in diesen Fällen war der symptomatische Erfolg der Bestrahlung wesentlich, das Schluckvermögen wurde gebessert. Die Erweiterung der Karzinomenge trat auch auf dem Röntgenbilde in Erscheinung (Abb. 8 und 9).

Wir benutzten die Czerny-Caansche Sonde und 50—60 mg Radiumelement, als Filter diente entweder 1 mm Zelluloid (die Czerny-Caan'sche Originalkapsel) oder $^1/_2$ mm Messing. Bei Messingfilter wurde innerhalb weniger Tage bis zu 5 Stunden, bei Verwendung der Zelluloidkapsel $1^1/_2$ –2 Stunden bestrahlt. Nach 2—4 Wochen wiederholten wir die Behandlung.

Tabelle 3. Ösophaguskarzinome mit Radiumsonde behandelt.
Chirurg. Klinik, Königsberg.

1	Carl D. 69 Jahre	Seit 8 Mon. Schluckbeschwerden. Gewicht 88 Pfund.	Januar 1921 Gastrostomie	2 mal je 1½ Std. Zelluloidfilter. Sonde gelangt nicht in Stenose	Keine Besserung der Schluckfähigkeit. Weitere Gewichtsabnahme	Nach 8 Woc Exitu
2	Franz M. 56 Jahre	Seit 3 Mon. Schluckbeschwerden. Gewicht 122 Pfund	März 1921 Gastrostomie abgelehnt	2 mal je 1¾ Std. Sonde dringt mühelos in Stenose ein	Erhebliche Besserung der Schluckfähigkeit. Auch feste Speisen können zeitweilig geschluckt werden	Nach 3 Mon Exitu
3	Stachus K. 66 Jahre	Seit 3 Mon. Schluckbeschwerden. Karzinom sitzt etwas oberhalb der Kardia. Gewicht 104 Pfund	Mai 1921 Gastrostomie, kann Faden nicht schlucken	5 mal, 1 mal 55 mg Radium, 1 mm Zelluloidfilter, 4 mal 55 mg Radium, ½ mm Messingfilter je 1½ Std. Sonde dringt nicht in Stenose ein	Keine Besserung des Schluckvermögens. Anfangs Gewichtszunahme 3 Pfund, dann zunehmende Kachexie	Nach 10 Woc Exitu
4	Franz R. 56 Jahre	Seit 4 Mon. Schluckbeschwerden. Gewicht 102 Pfd. Karzinom sitzt dicht oberhalb der Kardia	Mai 1921 Gastrostomie	2 mal je 1½ Std., 1 mm Zelluloidfilter. Die Sonde dringt nicht in die Stenose ein	Schlucken kaum gebessert. Zunehmende Kachexie	Nach 2 Mon Exitu
5	Ernst T. 29 Jahre	Seit 5 Mon. Abmagerung, seit 6 Wochen Schluckbeschwerden. Kardiakarzinom. Gewicht 94 Pfund	Mai 1921 Gastrostomie	3 mal je 1—1½ Std. 1 mm Zelluloidfilter. Sonde dringt nur 1 mal bis in Magen ein. Fixation des starken Würgens halber nicht sicher möglich	Keine erkennbare Besserung	Nach 10 Woc Exitu
6	Auguste Z.	Seit 6 Woch. Schluckbeschwerden. Karzinom in Larynxhöhe. Gewicht 108 Pfund	Juni 1921 Gastrostomie	2 mal je 50 mg Radium, 0,5 mm Messingfilter, 4 u. 5 Std.	Keine Besserung der Schluckfähigkeit. Zunehmende Kachexie	Nach 3 Mon Exitu

7	Wilhelm K. 56 Jahre	Seit 4 Mon. Schluckbeschwerden. In der letzten Woche kann auch Wasser nicht mehr geschluckt werden. Gewicht 106 Pfund	August 1921 Gastrostomie, kann Faden nicht schlucken	1 mal 4 Std. ½ mm Messingfilter, 2 mal 1½ Std. 1 mm Zelluloidfilter. Sonde kann nicht in Stenose gebracht werden	Keine Besserung der Schluckfähigkeit. Zunehmende Kachexie	Nach 10 Woch. Exitus
8	Leib L. 58 Jahre	Schluckbeschwerden seit 6 Monaten. Gewicht 96 Pfund	August 1921 Gastrostomie, kann Faden nicht schlucken	Auswärts mit Röntgen u. Radium 1 Monat vorbehandelt. 2 mal je 4½ Std. ½ mm Messingfilter. Sonde gelangt nicht in Stenose	Keine Besserung der Schluckfähigkeit. Dauernde Gewichtsabnahme	Nach 5 Woch. Exitus
9	Franz B. 69 Jahre	Seit 4 Mon. Schluckbeschwerden. Seit 3 Mon. Ösophag. — Trachealfistel. Gewicht 84 Pfund	Januar 1922 Gastrostomie verweigert	1 mal 1½ Std. Zelluloidfilter. Sonde gelangt nicht in Stenose	Ohne jeden Effekt	Nach 6 Woch. Exitus
10	Georg R. 63 Jahre	Seit 8 Woch. Schluckbeschwerden. Gewicht 120 Pfund. Großer Mann, 1,82 m	Februar 1922 Gastrostomie	3 mal Sonde Zelluloid 2 Std., 1 mal Fadenmethode ½ mm Messing 5 Std. Sonde kann die beiden erst. Male in Stenose eingeführt werden	Wesentliche Besserung der Schluckfähigkeit. 3 Pfund Gewichtszunahme	Nach 6 Mon. Exitus
11	Bertha H. 59 Jahre	Seit 4 Mon. Schluckbeschwerden. In letzten Wochen gelangen nur noch Flüssigkeiten in Magen. Abmagerung. Gewicht 90 Pfund. Tumor in Zungenbeinhöhe. Sitz an Hinterwand des Larynx fest	Juli 1922 Gastrostomie abgelehnt	2 mal je 1½ Std. 110 mg Radium, 1 mm Messing. Lokalisation in Stenose gelingt das 1. Mal. Fixation des Würgens halber trotz Kokainisierung nicht sicher möglich	Schluckvermögen kurze Zeit gebessert	Nach 10 Woch. Exitus
12	Friedr. Gr. 62 Jahre	Seit 4 Mon. Schluckbeschwerden. Karzinom in Höhe des Zungenbeins. Gewicht 118 Pfund	Dezember 1922	1 mal 110 mg Radium, 1 mm Messing 1½ Std. Radium gelangt zwar in Stenose, aber Reizwirkung trotz Kokainisierung so stark, daß Fixation nicht sicher möglich	Keine Besserung der Schluckfähigkeit. Nach 4 Woch. Fistelbildung nach der Luftröhre. Weitere Gewichtsabnahme	Nach 8 Woch. Exitus
13	Hans v. H. 63 Jahre	Seit 4 Woch. Schluckbehinderung. Karzinom in Höhe des Zungenbeins. Etwas Abmagerung. Gewicht 124 Pfund	Dezember 1922 Gastrostomie abgelehnt	5 mal je 1¼—1½ Std. 110 mg Radium. Lokalisation in Stenose gelingt, auch Fixation leidlich nach Kokainisierung. August 1922 in Heidelberg (Prof. Werner) Röntgenbestrahlung und Radiumbestrahlung, 10000 mg Elementstd. — 5 cm Distanz 20 qcm strahlender Fläche	Schluckvermögen wird für Monate auch für feste Speisen wiederhergestellt. 2 Pfund Gewichtszunahme, dann Metastasenbildung	Nach 9 Mon. Exitus

Gelingt die Einführung der Sonde in die Krebsstenose, so besteht die Schwierigkeit einer genügenden Fixation. Im allgemeinen wird nach der Röntgenkontrolle ein Band oder Seidenfaden an der Stelle, wo sie den Mund verläßt, geknüpft. Die Enden dieses Bandes werden um den Hals geschlungen und geknotet. Die zum Munde herausführende Sonde, wenn sie auch noch so dünnn ist, übt einen fortwährenden Reiz aus, den der Patient mit Schluck- und Würgbewegungen beantwortet, daher reicht diese Fixation in vielen Fällen nicht aus, besonders dann nicht, wenn bei starker Filterung lange Bestrahlungszeiten nötig sind.

Bei Röntgenkontrollen am Schlusse der Bestrahlung haben wir uns wiederholt davon überzeugt, daß trotz der Fixation das Radiumpräparat sich nach oben oder nach unten verschoben hatte, und sich also nicht mehr auf dem Karzinom befand. Das Herabgleiten des Radiums versuchten wir dadurch zu verhindern, daß das obere Ende des Radiumfilters einen Knopf erhielt (s. Abb. 3b).

Der Indikationsbereich für die Anwendung der Sonde zur Radiumapplikation beim Speiseröhrenkrebs ist also relativ klein. Nur in den Fällen, in denen es mühelos gelingt, mit der Sonde die Karzinomenge zu passieren, ist eine zweckmäßige und erfolgreiche Bestrahlung möglich. Immerhin kann man bei kritischer Auswahl der geeigneten Patienten nennenswerte symptomatische Erfolge erzielen und den Zeitpunkt der Anlegung einer Gastrostomie hinausschieben.

Einführung des Radiums vermittels Ösophagoskops.

Die Schwierigkeiten, das Radium mit der Sonde an das Karzinom zu bringen und dort zu fixieren, und die Unannehmlichkeit, die die Sonde dem Patienten bereitet, machten den Wunsch nach einer anderen sichereren und schonenderen Einführungsmethode verständlich. Mit Verbesserung des Ösophagoskops, dessen Nutzen wir bei der Diagnostik des Speiseröhrenkrebses schon gedachten, war die Möglichkeit gegeben, den Radiumbehälter unter Leitung des Auges in die krebsige Enge einzuführen. Von dieser Möglichkeit ist des öfteren Gebrauch gemacht worden.

Wendel demonstrierte 1913 2 Kranke, die vermittels Ösophagoskops mit Mesothorium (137 mg) bestrahlt waren.

Beide kamen erst bei völligem Verschluß der Speiseröhre in Behandlung. Als Filtermaterial diente Gold ohne Gummiüberzug zur Ausnutzung der Sekundärstrahlen. Bestrahlt wurde 2—3 Stunden, zwischen 2 Sitzungen wurde eine Pause von mindestens einer Woche eingelegt. Der Bestrahlungsapparat wurde an einer elastischen Stahlsonde von Bandform befestigt, „welche ohne jede Beschwerde vertragen wird und bei exakter Fixierung am Mundwinkel eine Verschiebung des Präparates durch den Schluckakt verhindert". Beide Kranke erlangten bald ihre Schluckfähigkeit, selbst für feste Speisen in gut gekautem Zustande, zurück. Eine Gastrostomie konnte entbehrt werden.

Ähnlich ging Pinsch vor: die Tube wurde an einem Silberdraht montiert und mit Hilfe des Ösophagoskops an den Tumorherd gebracht. Es wurden zwar keine Dauerheilungen, aber Besserungen bis zu 2 Jahren beobachtet.

Auch Habs führte die Radiumkapsel (1 mm Bleifilter mit Gummiumhüllung) mit der Brüningschen Zange im Ösophagoskop ein, preßte die Kapsel möglichst tief in die Stenose und ließ sie dann dort, durch einige zum Munde herausgeleitete Seidenfäden gesichert, liegen.

Erwähnt sei Stickers Vorschlag, das Radium vermittels des retrograd durch eine Magenfistel eingeführten Ösophagoskops an die Geschwulst zu bringen. Sticker hält diese Methode besonders für das Kardiakarzinom geeignet, empfiehlt sie aber auch für den Speiseröhrenkrebs: „Hier gelingt es, hinter dem pulsierenden Herzen her die Sonde, das Ösophagoskop, das Blei, einzuführen." Ohne Beschwerden „liegt das Ra-

diumpräparat die gewünschte Stundenzahl, und zwar im Geschwulstkanal selbst, nicht wie gewöhnlich beim Einführen von oben in der sackartigen Erweiterung oberhalb der Geschwulst". Die Methode hat sich keine Freunde erworben.

Finzi behandelte 1913 ebenfalls einen Ösophaguskarzinomkranken mit Radiumeinlage durch das Ösophagoskop:

Die Schluckbeschwerden hatten bereits 6 Monate gedauert, und daß am 28. August 1913 gefertigte Röntgenbild (s. Abb. 10) zeigt die Stenose. Am 4. September 1913 wurde eine Ösophagoskopie vorgenommen, und eine Radiumtube in die Striktur eingeführt. Die Tube enthielt 100 mg Radiumbromid, war mit 2 mm dicken Platten gefiltert und wurde 16 Stunden an Ort und Stelle

Abb. 10. Fall vor Bestrahlung.

Abb. 11. 6 Wochen nach Bestrahlung.
Radiumbestrahlung mittels Ösophagoskop (nach Finzi).

belassen. Die 2. Aufnahme zeigt die Striktur am 15. Oktober, also fast 6 Wochen nach der Radiumapplikation (s. Abb. 11). Das Wismut reicht etwas weiter hinunter an das Diaphragma als bei der früheren Untersuchung und passiert die enge Stelle auch in einem weiteren Strome. Die Dilatation der oberen Ösophaguspartie hat wesentlich abgenommen.

Sehr groß ist der Erfolg, nach den Bildern zu urteilen, nicht gewesen.

Ein glänzendes Ergebnis der Radiumbehandlung des Speiseröhrenkrebses mit Ösophagoskop erzielte Wittmaack in einem Falle, auch was die Dauer des Erfolges anbelangt. Wittmaack glaubt seinen Erfolg vorwiegend auf seine Bestrahlungstechnik zurückführen zu müssen; folgende Punkte erscheinen ihm besonders wesentlich:

Das als Radium dienende Röhrchen darf keinesfalls zu kurz sein. Es sollte vielmehr bei gleichmäßiger Verteilung des Radiums auf die ganze Länge des Röhrchens so lang sein, daß es das Karzinom in seiner ganzen Längenausdehnung bedeckt. Das Röhrchen, mit dem ich bei dem beschriebenen Falle arbeiten konnte, hatte bei gleichmäßiger Verteilung des Radiums eine Länge von 3,25 cm. Ich würde in Zukunft sogar ein Röhrchen von 4 cm Länge verwenden, wenn ich es erhalten könnte.

Die Einführung sollte stets unter Kontrolle des Auges, am besten mit einer Fremdkörperzange oder dergleichen im ösophagoskopischen Rohre erfolgen. Es läßt sich das unter Hinzuziehung des Morphiumskopolaminrausches, der für diese Zwecke geradezu unentbehrlich ist, gut durchführen.

Das eingeführte Röhrchen muß durch Gazeumwicklung oder dergleichen soweit verdickt werden, falls die gewählten Filter hierzu noch nicht ausreichen, daß es sich gerade noch mit leichtem Druck in die Karzinomenge einzwängen läßt. Man erhält hierdurch einerseits die größte Gewähr dafür, daß es auch während der ganzen Einwirkungsdauer an Ort und Stelle liegen bleibt, andererseits können sich auch durch die Streckung der Falten in der Karzinomenge die Bedingungen für die Radiumeinwirkung noch günstiger gestalten.

Im vorliegenden Falle wurden 9 Behandlungen, jede bei 8—9stündiger Einwirkungsdauer, mit 50 g Radiumbromid in 2 mm Messingfilter vorgenommen. Zwischen jeder Behandlung ist eine zweiwöchentliche Pause einzulegen.

Die gekürzte Krankengeschichte des interessanten Falles lautet:

54 jähriger Bauereibesitzer. Seit Anfang Juni 1917 Schluckbeschwerden. Anfang Juli 1917 wurde erstmalig ein Arzt konsultiert, der den Beschwerden keine besondere Bedeutung beimaß. Da keine Besserung eintrat, erfolgte Zuweisung des Patienten am 24. August 1917 zur spezialärztlichen Untersuchung. Verengerung befand sich ca. 32 cm von der Zahnreihe entfernt. Die Probeexzision mit Brüningscher Fenstersonde ergab typisches Karzinomgewebe. Radiumbehandlung vom 27. September bis 20. Dezember 1917.

Von Anfang Januar bis Anfang April 1918 bestand ein Zustand stärkster Radiumreaktion mit intensiven gürtelförmigen Schmerzen, die den Patienten in seinem Allgemeinbefinden schwer beeinträchtigten. Beklemmung und Angstgefühl bei objektiv negativem Befund. Der Puls ging dauernd langsam, voll und kräftig. Die Temperatur war niemals erhöht. Die Nahrungsaufnahme war ausreichend. Wegen der heftigen Schmerzanfälle mußten anfangs Morphiumeinspritzungen vorgenommen werden.

Die lokale Behandlung wurde während des Reaktionsstadiums ausgesetzt. Von Anfang April Beginn mit regelmäßiger Sondierung. Die Speiseröhre zeigte sich hierbei noch leidlich durchgängig, bei ausgesprochener Neigung zur Verengerung. Die Sonde selbst verbreitete nach der Herausnahme einen brandig-jauchigen Geruch. Von einer Ösophagoskopie wurde absichtlich Abstand genommen, um nicht durch die Einführung des starren Rohres eine Perforation auszulösen.

Der Zustand des Patienten war reichlich ein volles Jahr nach Aussetzung der Radiumbehandlung durchaus günstig. Die subjektiven Beschwerden waren geringfügig. Die Nahrungsaufnahme ging gut vor sich, die Speiseröhre war für Sonden von 11 mm Durchmesser durchgängig. Der allgemeine Kräftezustand war ausgezeichnet, das Aussehen vollkommen frisch und gesund. Der Patient konnte stundenlange Märsche vornehmen, ohne zu ermüden, und ging nach wie vor seiner gewohnten Beschäftigung nach.

Über den Ausgang dieses Falles teilte mir Wittmaack folgendes mit:

Am 27. November 1919 ist der Kranke gestorben. Er hat sich bis kurze Zeit vor seinem Tode noch durchaus wohl gefühlt. — Reisen unternommen, eine Tochter verheiratet usw., bis er plötzlich und unerwartet unter den Erscheinungen einer Septikopyämie erkrankte. Schüttelfröste, hohe Temperaturen und Metastasen in Lunge und Gelenken. Die Beobachtung ergab indessen, daß es sich wohl nicht um eine rein septische Infektion, sondern offenbar um eine pyämische Aussaat von Krebsmetastasen handelte. Der Exitus trat unter diesen Umständen ziemlich plötzlich ein. Die Sektion zeigte einen kleinen gegen die Schleimhaut und das Lumen des Ösophagus durch feste Schwielen abgegrenzten Karzinomrest (bzw. ein Karzinomrezidiv), der in die anliegende große Vene eingetreten war, so daß offenbar von hier aus die metastatische Aussaat erfolgt war.

So schön einzelne Erfolge auch dank der guten Technik des Arztes und der Geduld und Willenskraft des Kranken gewesen sind, eine allgemein anwendbare Methode wird die Radiumapplikation vermittels des Ösophagoskops nicht werden. Ihr haften zu viel Schwierigkeiten an. Es wird nicht viele Kranke geben, die sich einer mehrfachen Radiumbehandlung unterziehen werden, wenn in jeder Sitzung eine Ösophagoskopie notwendig ist. Diese Auffassung gibt auch Hotz Ausdruck: „Die beste Lagerung der Radiumkapsel würde zweifellos unter Leitung des Auges mit dem Ösophagoskop vorgenommen, aber diesem Vorgehen stellt sich vielfach der Widerstand unserer Patienten entgegen, und wir brauchen ihre Toleranz später noch notwendig."

Ob die Lagerung der Radiumkapsel am besten mit dem Ösophagoskop vorgenommen wird, erscheint zweifelhaft, denn diese Einführung ist keine leichte Aufgabe. Selbst bei Pharynxkarzinomen, bei hoch sitzenden Speiseröhrenkrebsen, bei denen der Beginn des Tumors unter Benutzung eines einfachen Spiegels sichtbar wurde, ist es selbst geschulter Hand oft nicht möglich, das Radium in die Geschwulstenge zu bringen. Die Schwierigkeiten der Ösophagoskopie beim Karzinom können unüberwindlich groß sein, sei es, daß ein Spasmus oberhalb des Tumors das genügend tiefe Hinabschieben des Rohres verhindert, sei es, daß der Eingang der Stenose hochgradig exzentrisch liegt; ja selbst in den Fällen, in denen der Beginn der Verengerung sichtbar wird, kann die Einführung der Kapsel unmöglich sein.

Andere Methoden der Einführung des Radiums.

Die Radiumbehandlung des Ösophaguskarzinoms ist außer der Sondenbestrahlung und der Einführung durch das Ösophagoskop auf andere Arten versucht worden. Rockey gab 1918 folgende Technik an: Der Kranke schluckt allmählich einen etwa 6 m langen Seidenfaden, der langsam abgerollt wird, damit er sich vor dem Hindernis nicht aufknäuelt. Wenn das Ende des Fadens am Anus erscheint, wird er hier festgehalten. Zieht man nun den Anfangsteil des Fadens am Munde straff an, so hat man einen Leitfaden, der durch die Stenose führt. Der Faden wird nun in die Schleife einer biegsamen Sonde aus Pianosaitendraht eingefädelt. Mit einer zweiten Sonde wird nun entlang der ersten das Radium unter Röntgenkontrolle mitten in die Tumormasse gebracht.

Die umständliche Methode ist von anderer Seite nicht nachgeprüft worden. Immerhin ist der dieser Technik zugrunde liegende Gedanke, der Einschaltung eines Leitbandes, an dem entlang die Radiumkapsel ohne Gefahr des falschen Weges, der Perforation der Ösophaguswand, in die Stenose eingeführt werden kann, durchaus sinnvoll und richtig. Belbet, Chacquot, Herrenschmidt und Mock teilten 1914 eine ähnliche Methode mit, die sie selbst als „ziemlich eigenartig" bezeichnen, und die sie nur an einem Patienten versuchten. Man ließ den Kranken einen Seidenfaden schlucken, an dessen Ende, wie an einer Angel, eine Bleikugel befestigt war. Darauf wurde die Gastrostomie gemacht, während der man versuchte, den verschluckten Faden vom Magen aus herauszuziehen. 4 Tage nach der Operation befestigte man an dem Ende des Fadens das Radiumröhrchen und ließ es durch den Magen in den Ösophagus wandern, indem man an dem aus dem Munde ragenden Fadenende zog; man brachte es so 22 cm hinter der oberen Zahnreihe in die Höhe des Tumors. Der Erfolg mit dieser Technik war in dem einen Falle schlecht, der Tumor zeigte keine Rückbildung, und der Kranke starb 2 Monate nach der Behandlung.

Hotz verwandte zunächst biegsame Sonden als Radiumträger, kam aber davon ab, weil die Sonde während der langen Bestrahlungsdauer zu stark reizte. Er ging dann in der Weise vor, daß er die Radiumkapsel (40 mg Ra. El., 2 mm Silberkapsel, biologisch ausdosiert) an einem Seidenfaden schlucken ließ. Das Seidenband wurde am Mundwinkel und Hals befestigt. Am Seidenfaden befand sich eine Kontrollmarke, aus deren Lage man entnehmen konnte, wieweit das Röhrchen geschluckt wurde. Erwähnt sei, daß Einhorn 1904 bei der Bestrahlung des Magenkarzinoms mit Radium in gleicher Weise vorging.

Hotz' Bestrahlungszeiten betrugen 10—12 Stunden. Zunächst wurden die Bestrahlungen alle 8—10 Tage, dann allmonatlich wiederholt.

Der wesentlichste Erfolg der Behandlung stellte sich bei Hotz' Fällen bald ein. „Oft schon nach der ersten Sitzung, welche nicht unter 8 Stunden zu bemessen ist, wurde der Ösophagus für Flüssigkeiten und dünnen Brei wieder durchgängig. Es dürfte sich nicht sowohl um spezifische Radium-

wirkung als vielmehr um eine gelinde mechanische Dehnung handeln. So ist es uns auch schon passiert, daß die Kapsel in den Magen rutschte." Hotz kombinierte übrigens die Radiumapplikation mit Röntgenbestrahlung.

In der Arbeit von Suter finden sich bei der Beschreibung der Hotzschen Technik einige Bilder, die die Methode veranschaulichen. Auch Erfolge werden mitgeteilt. In einem Falle wurde 5 kg Gewichtszunahme beobachtet. Von 6 Kranken wurden 3 zeitweilig wieder arbeitsfähig. Dauerresultate sind nicht angegeben.

Ein Vorteil der Hotzschen Methode liegt auf der Hand, das ist der Fortfall der Sonde und ihr Ersatz durch einen Faden, der nahezu ohne Belästigung ertragen wird. Was aber die Frage der Lokalisierung des Radiums in der Stenose anbelangt, so scheinen der allgemeinen Anwendung der Hotzschen Methode sowohl einige theoretische Bedenken wie auch praktische Erfahrungen gegenüberzustehen.

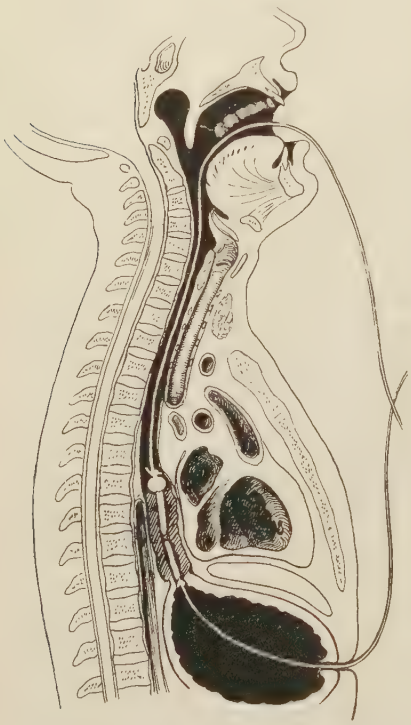


Abb. 12. Schema der Radiumapplikation durch „Sondierung ohne Ende".

Es ist schwer verständlich, wie eine immerhin ziemlich voluminöse Radiumkapsel in eine Stenose eindringen soll, welche kaum noch Flüssigkeiten passieren läßt. Bei geringeren Stenosen, wie sie allerdings selten sind, wird gewiß der Radiumträger, wie Hotz das angibt, in die Stenose gelangen; aber wie ihn mit Sicherheit an richtiger Stelle fixieren? Hotz teilt selbst mit, daß es passiert sei, daß die Kapsel in den Magen rutschte. Es liegt nahe, so vorzugehen, daß man der geschluckten Radiumkapsel, die auf der Stenose liegt, gerade soviel Spielraum an ihrem Faden läßt, daß noch das Eindringen in die Stenose möglich ist. Unsere Versuche haben ergeben, daß diese theoretischen Überlegungen sich nicht praktisch verwirklichen lassen. Entweder, und das war in der weitaus größten Mehrzahl der Fälle so, lag das Radium oberhalb der Stenose, wie die Röntgenschirmkontrolle nach 1—2 Stunden ergab, oder aber, in seltenen Fällen, hatte es die Stenose gänzlich passiert. Die Aufgabe richtiger Lokalisation und sicherer Fixierung des Radiums in der Tumorenge ist demnach in der großen Mehrzahl der Fälle nach der Hotzschen Methode nicht lösbar.

Methode der Sondierung ohne Ende.

Aus dem bisherigen Überblick ergibt sich, daß den Methoden der Radiumbestrahlungen des Ösophaguskarzinoms viele Mängel anhaften. Die vielfach unbefriedigenden Resultate haben, zum großen Teil wenigstens, ihren Grund in Fehlern der Technik. Die engen Stenosen waren bisher für die Radiumapplikation ungeeignet.

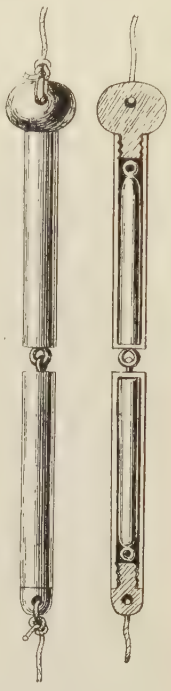
Die Möglichkeit, alle Speiseröhrenkrebse mit Radium zu behandeln, liefert das Verfahren der „Sondierung ohne Ende" (Abb. 12). An der Königsberger Klinik wird diese Technik seit 1920 angewandt. 1921 wurde sie in der Strahlentherapie, Bd. 13, unter Mitteilung der ersten günstigen Ergebnisse beschrieben (Kurtzahn). Im selben Jahre

erwähnte auch Perthes, daß durch eine Gastrostomie das Einlegen des Radiumröhrchens nach dem Prinzip der Sondierung ohne Ende sehr erleichtert wird.

In allen Fällen, in denen eine Bestrahlung mit der Radiumsonde der Enge der Stenose wegen unzweckmäßig war, in allen Fällen, in denen eine Gastrostomie angelegt werden mußte, ist dieses Vorgehen an der Kirschnerschen Klinik die Methode der Wahl. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkte haben wir 31 Patienten in dieser Weise behandelt und etwa 150 Einzelbestrahlungen vorgenommen. Unsere Erfolge haben sich gegen früher derart verbessert, daß es angezeigt erscheint, unser Vorgehen genauer zu beschreiben.

Bei Anlegung der Gastrostomie tut man gut, den Schrägkanal der Witzelfistel nicht unnötig lang zu wählen. 4—6 Lembertnähte genügen, um einen ausreichenden Schluß der Fistel zu gewährleisten. Durch sehr lange Schrägkanäle wird das Auffischen des Fadens beträchtlich erschwert. Nach Anlegung der Magenfistel werden 14 Tage abgewartet, um feste Verklebungen im Witzelkanal zu erhalten, dann bekommt der Kranke den mit einer kleinen Bleikugel versehenen, dünnen Seidenfaden zu schlucken. Bei einer Durchleuchtung überzeugt man sich davon, daß das Kügelchen sich nicht mehr oberhalb der Stenose befindet. Liegt es im Magen, so ist es vor dem Röntgenschirm meist nicht mehr auffindbar. Hat die Schrotkugel die Verengerung nicht passiert, befindet sie sich noch in der Speiseröhre, so ist die deutlich zu erkennen.

Die Hauptfrage ist, ob überhaupt in vielen Fällen von engen Stenosen noch das Schlucken des mit der Schrotkugel armierten Seidenfadens möglich ist. Unsere Erfahrungen waren günstig. Häufig gelingt das Schlucken schnell, mitunter dauert es Stunden, in manchen Fällen allerdings Tage. Durch den Fortfall der mechanischen Reizung des Karzinoms nach der Anlegung der Magenfistel tritt oft eine vorübergehende Besserung der Schluckfähigkeit ein, so daß wenigstens Wasser heruntergebracht werden kann; diese Zeit der Besserung wird zum Schlucken des Fadens benutzt. Gehen Flüssigkeiten durch die Stenose hindurch, so findet auch die Schrotkugel am Seidenfaden in der großen Mehrzahl der Fälle ihren Weg in den Magen. Wenn das Herunterbringen des Fadens Schwierigkeiten macht, so ist das Schlucken von Adrenalinlösung mit ihrer anämisierenden Wirkung von gewissem Nutzen; auch die subkutane Darreichung von Atropin ist zweckmäßig.



a b

Abb. 13. Radiumträger der chir. Klinik Königsberg zur Bestrahlung vermittelst Faden ohne Ende (nach Kurtzahn), a gebrauchsfertig, b Längsschnitt.

Schwierigkeiten des Fadenschluckens sind also mitunter da, aber nicht zu überschätzen. In 80% der Fälle, bei denen die Sondierung mit der Czerny-Caanschen Sonde wie Röntgenschirmkontrollen ergaben, nicht möglich war, gelang das Schlucken. Die große Mehrzahl der Fälle, die bisher für eine zweckentsprechende Radiumbestrahlung nicht mehr in Frage kam, kann also nach dieser Methode behandelt werden.

Vor dem Versuch des Fadenfischens trinkt der Kranke ein Glas Wasser, oder es wird ihm durch den Magenschlauch eingefüllt. Durch das Einströmen der Flüssigkeit in den Magen wird der Faden von der Wand gelöst und ist leichter auffindbar. Das Fischen des Fadens nahmen wir mit einem häkelhakenartig gekrümmten Instrument vor; komplizierte Vorrichtungen zum Auffinden des Fadens, Magneten usw. erwiesen sich uns als entbehrlich. Wir förderten den Faden bisher in jedem Falle zutage, mitunter allerdings in einer zweiten Sitzung.

Der Radiumträger (Abb. 13) besteht aus 2 Messingröhrchen (1,0 bzw. 0,5 mm Messing), die gelenkig miteinander verbunden sind. Bei geringen Stenosen, z. B. nach

mehreren vorangegangenen Bestrahlungen, haben wir das Radium bisweilen distanziert, und zwar durch einen für diesen Zweck genähten Leinwandüberzug, der über den Radiumträger gestreift wurde. Bei engen Stenosen ist ein Distanzieren, selbst in diesem bescheidenen Maße, nicht möglich. Es ist nicht zweckmäßig, den Radiumträger voluminös zu gestalten, er soll sich ohne Gewalt mit leichtem Zug in die Stenose ziehen lassen.

In jede der beiden Filterkapseln wird ein Radiumröhrchen eingelegt (je ca. 60 mg Radiumbromid). Sorgsam werden die Verschlußschrauben an dem Ende jedes Röhrchens angezogen. Die eine dieser Schrauben, diejenige, die später in situ kranialwärts zu liegen kommt, trägt einen runden Metallknopf, der bei geringeren Stenosen das Durch-

Abb. 14. Richtige Lage des Radiumträgers in der Krebsstenose (Sondierung ohne Ende). Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

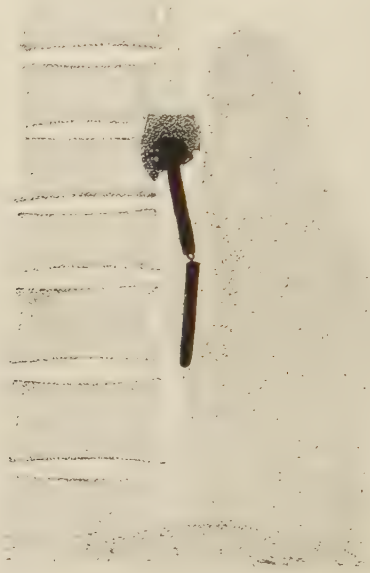


Abb. 15. Richtige Lage des Radiumträgers (schematisch).

gleiten des Trägers durch die Enge verhindern soll. Die beiden Verschlußstücke sind durchbohrt, um den Faden aufzunehmen, der Radiumträger wird also in das zum Munde herausführende Fadenende eingeschaltet.

Vor der Einführung des Radiums erhält der Kranke zur Markierung des Beginnes der Stenose einen knappen Teelöffel Bariumaufschwemmung zu schlucken und wird im schrägen Durchmesser vor den Röntgenschirm gestellt. Durch Zug an dem aus der Magenfistel herausführenden Seidenfaden wird der in den Faden eingeschaltete Radiumträger in die Stenose gezogen. Deutlich erkennt man vor dem Schirm, wie der Radiumträger in den Bariumschatten taucht, der den Beginn der Stenose markiert. Nach einem weiteren leichten Zuge dringt der Radiumträger in die Stenose ein. Abb. 14 zeigt den Befund, den man vor dem Röntgenschirm bei richtigem Sitze des Radiums erhält, und Abb. 15 gibt im Schema diese Verhältnisse wieder.

Sitzt das Radium an seinem Platze, so werden die angezogenen Seidenfäden am Munde und an der Gastrostomiestelle mit Heftpflaster festgeklebt, und das Präparat sitzt damit fest. Von einer Belästigung des Patienten ist nicht die Rede. Bei engen

Stenosen, bei denen das Röhrchen erst nach einem gewissen Zug in die Stenose eindringt, sitzt das Radium so sicher, daß die Patienten umhergehen können, ohne daß eine Verschiebung eintritt, in der Mehrzahl der Fälle haben wir aber die Vorsicht gebraucht, die Kranken während der Bestrahlung zu Bett liegen zu lassen.

Die Herausnahme des Radiumträgers geschieht durch Zug an dem zum Munde herausführenden Faden. Wenn das Auffischen des Fadens das erstemal zeitraubend war, haben wir nach Entfernung des Röhrchens den Faden bis zur zweiten Bestrahlung, die in etwa 14 Tagen bis 3 Wochen vor sich ging, liegen lassen.

Auf dem Chirurgenkongreß 1922 berichtete ich über 7 Fälle, die nach dieser Methode behandelt waren. Die Krankengeschichten sind dem Kongreßbericht beigegeben. Unsere Resultate mit der beschriebenen Methode waren wesentlich besser als diejenigen, die wir mit Sondenbestrahlung erzielten. Dieser Unterschied trat deutlich bei der tabellarischen Zusammenstellung der damals behandelten Fälle hervor.

Tabelle 4.

Bestrahlungsresultate bei 7 Fällen mit Applikation des Radiums vermittels Sonde.

Unzureichende Lokalisation des Radiums.

	Behandlungsdauer	Schluckvermögen	Gewicht
Fall 1. Magenfistel	3 Mon. Danach Exitus	Ungebessert	Dauernde Abnahme
Fall 2. Keine Fistel	3 Mon. Danach Exitus	Vorüberg. gebessert	Dauernde Abnahme
Fall 3. Magenfistel	2½ Mon. Danach Exitus	Ungebessert	Vorübergehende Zunahme um 3 Pfd.
Fall 4. Magenfistel	2 Mon. Danach Exitus	Ungebessert	Dauernde Abnahme
Fall 5. Magenfistel	2 Mon. Danach Exitus	Ungebessert	Dauernde Abnahme
Fall 6. Magenfistel	2½ Mon. Danach Exitus	Ungebessert	Dauernde Abnahme
Fall 7. Magenfistel	2 Mon. Danach Exitus	Vorüberg. gebessert	Dauernde Abnahme

Zweckentsprechende Lokalisation des Radiums.

Fall 8. Magenfistel	Bisher 4 Monate	Vorüberg. erhebl. Bess.	Gew.-Zun. bis zu 3 Pfd.
Fall 9. Keine Fistel	Bisher 5 Monate	Erhebliche Besserung	Gew.-Zun. bis zu 4 Pfd.

Tabelle 5.

Bestrahlungsresultat bei 7 Fällen, bei denen die Lokalisation mit der Sonde nicht gelang und die nach dem Verfahren der Sondierung ohne Ende bestrahlt werden.

Behandlungsdauer	Schluckvermögen	Gewicht	
Fall 10. 7 Monate. Danach Exitus	Fast ungehindert. Pat. entfernt Schlauch	Zunahme bis zu 13 Pfd.	Nimmt Arbeit als Kutscher auf
Fall 11. 10 Monate. Danach Exitus	Fast ganz ungehind. Pat. entfernt Schlauch	Zunahme bis zu 11 Pfd.	Nimmt Arbeit als Bohrer in Eisenfabrik auf
Fall 12. 8 Monate. Wird weiter behandelt	Meist ganz ungehindert	Zunahme bis zu 14 Pfd.	Als Landfrau tätig
Fall 13. 3 Monate. Danach Exitus	Besserung. Fast nur Ernährung vom Munde her	Keine Gew.-Zunahme	Keine Arbeitsfähigkeit
Fall 14. 4 Monate. Wird weiter behandelt	Wesentliche Besserung. Nur Ernährung vom Munde her	Zunahme bis zu 5 Pfd.	Keine Arbeitsfähigkeit
Fall 15. 5 Monate. Wird weiter behandelt	Fast ganz ungehindert	Zunahme bis zu 3 Pfd.	Nimmt Arbeit a. Nachtwächter auf
Fall 16. 3 Monate. Wird weiter behandelt	Wesentliche Besserung	Bisher 2 Pfd.	Bisher keine Arbeitsfähigkeit

Tabelle 6.

Ösophaguskarzinom vermittels der Methode der Sondierung ohne Ende mit Radium bestrah
Chirurg. Klinik, Königsberg.

1	H. F. 42 J.	Kardiaka. Seit 5 Monaten Schluckbeschwerden. Nur Flüssigkeiten gelangen in den Magen	April 1921 Gastrostomie	5mal	je 2—5 Std., die beiden letzt. Bestrahl. m. Czerny-Caanscher Sonde	Schlucken nahezu unbehindert. Pat. entfernt eigenmächtig Magenschlauch, um bei der Arbeit nicht behindert zu sein. Arbeitet als Kutscher. 13 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 7 Monaten Exitus
2	A. B. 58 J.	Seit 6 Monaten Schluckbeschwerden. Nur Flüssigkeiten können geschluckt werden	Juni 1921 Gastrostomie	10mal	je 4—5½ Std.	Schlucken z. T. völlig unbehindert, auch für feste Speisen, Ernährung nur per os. Bisher 4 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 10 Monaten Exitus
3	M. S. 39 J.	Seit 7 Monaten Schluckbeschwerden. Karzinom in Höhe des Kehlkopfes	Juli 1921 Gastrostomie	7mal	4—5 Std.	Schlucken meist unbehindert. 6 Monate lang als Landfrau tätig. Gewichtszunahme bis zu 14 Pfd.	Nach 9½ Monaten Exitus
4	J. S. 48 J.	Seit 3 Monaten Schluckbehinderung. In den letzten 8 Wochen 20 Pfd. Gewichtsabnahme	Okt. 1921 Gastrostomie	3mal	je 6 Std.	Schlucken gebessert. Keine Gewichtszunahme	Nach 3 Monaten Exitus
5	A. C. 64 J.	Seit 8 Monaten Schluckbeschwerden. Nur Flüssigkeiten können geschluckt werden. Gewicht 119 Pfd.	Dez. 1921 Gastrostomie	5mal	je 5—6 Std.	Schlucken z. T. unbehindert. Nur Ernährung per os. Nimmt seinen Dienst a. Nachtwächter wieder auf. 3 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 7 Monaten Exitus an interkurrenter Krankheit
6	A. T. 51 J.	Seit 4 Monaten Schluckbeschwerden. 48 Pfd. Gewichtsabnahme. Wiegt jetzt 106 Pfd.	Dez. 1921 Gastrostomie	4mal	4—5 Std.	Schluckvermögen sehr gebessert. Auch feste Speisen können geschluckt werden. Ernährung nur per os. 5 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 8 Monaten Exitus
7	G. W. 53 J.	Seit 5 Monaten Schluckbeschwerden. Starke Abmagerung. Gewicht 90 Pfd.	März 1922 Gastrostomie	5mal	5—6 Std. (meist 6)	Schlucken gebessert. Ernährung nur per os. Arbeitet nicht, weil er durch Schlauch behindert wird (Kutscher). 10 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 10 Monaten Exitus
8	F. K. 55 J.	Seit 4 Monaten Schluckbeschwerden. Starke Abmagerung	Mai 1922 Gastrostomie	4mal	je 5½—6 Std.	Schluckvermögen gebessert, z. T. fast unbehindert. Gewichtszunahme 12 Pfd. Zeitweise arbeitsfähig	Nach 10 Monaten Exitus
9	B. M. 64 J.	Seit 3 Monaten Schluckbeschwerden. Starke Gewichtsabnahme. Gewicht 82 Pfd.	Sept. 1922 Gastrostomie	7mal	je 5 Std. 1mal Röntgenstrahlen	Schluckvermögen gebessert, zeitweise auch für feste Speisen ungehindert. 12 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 14 Monaten Exitus

10	L. S. 13 J.	Seit 6 Monaten Schluckbehinderung	Okt. 1922 Gastrostomie	3 mal	6—7 Std.	Nach 2 Bestrahlungen Schluckbehinderung fast behoben. Gewichtszunahme 17 Pfd. Nach der 3. Bestrahlung Verschlechterung, schnelle Abmagerung	Nach 7 Monaten Exitus
11	A. S. 68 J.	Krankheitsbeginn vor ca. 4 Monaten. Gewicht 107 Pfd.	Okt. 1922 Gastrostomie	11 mal	5—6 Std.	Schluckvermögen mit kurzen Unterbrechungen ausgezeichnet. Arbeitete fast 1 Jahr als Brauereiarbeiter. Gewichtszunahme 19 Pfd.	Nach 1 Jahr 8 Monaten Exitus
12	W. W. 63 J.	Seit 4 Wochen Schluckbeschwerden. Patient kann nur Flüssigkeiten schlucken. Etwas Gewichtsabnahme.	Okt. 1922 Gastrostomie	4 mal	5—5½ Std.	Schlucken sehr erleichtert. Geht Beruf als Gastwirt nach. Gewichtszunahme 8 Pfd.	Nach 6 Monaten Exitus
13	E. N. 58 J.	Seit 6 Wochen können keine festen oder breiigen Speisen mehr geschluckt werden	Dez. 1922 Gastrostomie	3 mal	je 5—6 Std.	Pat. kann alles schlukken. Ernährung nur per os. 9 Pfd. Gewichtszunahme	Nach 7 Monaten Exitus
14	R. L. 55 J.	Seit 4 Monaten Schlack beschwerden	März 1923 Gastrostomie	3 mal	je 5—6 Std.	Schluckt alles von oben. Arbeitet nicht, weil ihn Schlauch hindert (Landwirt).	Nach 6 Monaten Exitus
15	E. Sch. 56 J.	Seit 3 Monaten Schluckbeschwerden. Kardiaka	März 1923 Gastrostomie	3 mal	4—5 Std.	Schluckvermögen zeitweilig gebessert. Ernährung fast nur per os. Keine Gewichtszunahme	Nach 5 Monaten Exitus
16	J. K. 61 J.	Seit 3 Monaten Schluckbeschwerden. Nur Flüssigkeiten passieren die Enge	Mai 1923 Gastrostomie	1 mal	6 Std.	Mitteilung desselben: Schluckvermögen gebessert. Pat. nicht weiter zur Behandlung erschienen.	Nach 5 Monaten Exitus
17	M. F. 54 J.	Seit 1 Jahr Schluckbeschwerden. Auch Flüssigkeiten werden jetzt erbrochen. Hochgradige Kachexie. Gewicht 85 Pfd.	Aug. 1923 Gastrostomie	2 mal	je 6 Std.	Schluckvermögen zeitweilig etwas gebessert. Ernährung teils durch Schlauch, teils per os. Keine Gewichtszunahme	Nach 5 Monaten Exitus
18	L. S. 53 J.	Seit 5 Monaten Schluckbeschwerden. Sehr starke Kachexie. Gewicht 86 Pfd.	Aug. 1923 Gastrostomie	1 mal	6 Std.	Pat. nicht weiter zur Behandlung erschienen. Keine Gewichtszunahme	Nach 3 Monaten Exitus
19	O. T. 51 J.	Seit 4 Monaten Schluckbehinderung. 48 Pfd. Gewichtsabnahme. Gewicht 118 Pfd.	Okt. 1923 Gastrostomie	1 mal	5½ Std.	Schluckvermögen zeitweilig etwas gebessert. Zunehmende Kachexie	Nach 3 Monaten Exitus

20	F. W. 64 J.	Seit 4 Monaten Schluckbeschwerden	Dez. 1923 Gastrostomie	4mal	4½—6 Std.	Pat. kann „mit Vorsicht alles essen und trinken". 7 Pfd. Gewichtszunahme. Leidet in letzter Zeit sehr unter Rückenschmerzen	Wird we behande bisher 9 Mona
21	G. F. 46 J.	Seit 8 Wochen Schluckbehinderung. Starke Abmagerung. Nur Flüssigkeiten können geschluckt werden	Jan. 1924 Gastrostomie	3mal	je 6 Std.	Schluckvermögen gebessert. Nahrungsaufnahme nur per os. Gewicht bisher unverändert. Zeitweise als Maler tät.	Wird we behande bisher 8 Mona
22	A. W. 65 J.	Seit 5 Wochen Schluckbehinderung. 20 Pfd. Gewichtsabnahme. Gewicht 102 Pfd.	Febr. 1924 Gastrostomie	2mal	5—6 Std.	Schlucken gebessert. Bisher Gewicht unverändert	Wird we behande bisher 7 Mona
23	A. B. 67 J.	Seit 8 Wochen Schluckbehinderung. Konnte vor Behandlung selbst Flüssigkeiten nur zeitweilig schlucken	März 1924 Gastrostomie	1mal bisher	6 Std.	Schlucken wesentlich gebessert. Ernährung nur per os. Bisher 4 Pfd. Gewichtszunahme	Wird we behande bisher 7 Mona
24	W. P. 73 J.	Seit 6 Monaten Schluckbeschwerden. Starke Abmagerung. Gewicht 110 Pfd.	Juni 1924 Gastrostomie	1mal	5 Std.	Besserung der Schluckfähigkeit. Bisher keine Gewichtszunahme	Wird we behande bisher 2 Mona

Besonders erfreulich war es, daß mit dem Verfahren der „Sondierung ohne Ende" in fast allen Fällen günstige Resultate erzielt wurden.

Die weiteren Erfahrungen in den folgenden Jahren haben der damals ausgesprochenen Ansicht, daß diese Methode der Sondenbestrahlung überlegen sei, Recht gegeben. Die symptomatischen Erfolge waren auch weiterhin befriedigend, die Schluckbehinderung konnte in fast allen Fällen behoben werden, das Körpergewicht nahm zu (bis zu 19 Pfund), die Lebensdauer wurde, unbestrahlten Fällen gegenüber, im Durchschnitt um ein halbes Jahr verlängert (längste Beobachtung von Beginn der Bestrahlung ab 1 Jahr 8 Monate), häufig trat dazu zeitweise Arbeitsfähigkeit ein (bis zu 1 Jahr). Die voraufgegangene Tabelle 6 zeigt im einzelnen unsere Resultate in den letzten Jahren.

Radiumbestrahlung beim Ösophaguskarzinom.

Fall 2. Albert B., 58 Jahre alt. Seit 6 Wochen Schluckbeschwerden. In den letzten 14 Tagen können feste Speisen nicht mehr hinuntergebracht werden.

Die Röntgenuntersuchung ergibt, daß es sich um ein Karzinom im unteren Speiseröhrenabschnitt handelt. Nur dünner Bariumbrei passiert die Stenose (Abb. 16). Die Sondierung mit der Czerny-Caanschen Sonde vor dem Röntgenschirm erfolglos.

25. April 1921. Anlegung einer Gastrostomie in der Chirurg. Klinik.

5. Juli 1921. Bestrahlung nach dem Verfahren der Sondierung ohne Ende. Das Schlucken des Seidenfadens gelingt nach mehrstündigen Versuchen. Das Auffischen des Fadens macht keine Schwierigkeiten (½ mm Messingfilter, 50 mg Ra.El., Bestrahlungszeit 5 Stunden).

15. Juli 1921. Pat. gibt an, daß in den letzten Tagen die Schluckfähigkeit sich auffallend gebessert habe. Er könne wieder Brot, feingekautes Fleisch und ähnliches schlucken. Bestrahlung in gleicher Technik. Bestrahlungszeit 6 Stunden.

29. Juli 1921. Pat. schluckt sämtliche Speisen von oben. Gewichtszunahme um 4 Pfund. Bestrahlung in gleicher Technik 6 Stunden.

Abb. 16. Fall Albert B. vor Bestrahlung. („Sondierung ohne Ende“.) Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

Abb. 17. 5 Wochen nach Beginn der Bestrahlungen.

Abb. 18. 5 Monate nach Beginn der Bestrahlungen.

Abb. 19. 7 Monate nach Beginn der Bestrahlungen.

13. Aug. 1921. Wohlbefinden. Pat. hat im ganzen 8 Pfund zugenommen. Schluckt alles von oben. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden. Die Röntgenkontrollaufnahme (Abb. 17) zeigt eine geradezu frappante Besserung gegenüber dem Ausgangsbefund (Abb. 6). Eine eigentliche Tumorausspannung ist kaum noch zu erkennen.

19. Aug. 1921. Schluckvermögen weiter ausgezeichnet. Pat. hat trotz Warnung den Magenschlauch entfernt. Die Magenfistel ist zugeheilt und Pat. hat seinen Beruf wieder aufgenommen. Bestrahlung mit der Czerny-Caanschen Sonde (50 mg Ra.El., 1 mm Messingfilter, 4 Stunden). Lokalisation der Radiumkapsel an der Stelle des Sitzes des Tumors macht naturgemäß keine Schwierigkeiten.

25. Juli 1921. Pat. gibt an, daß er einige Tage nach der Bestrahlung geringe Mengen Blut und Bröckel herausgewürgt habe. Beim Schlucken fester Gegenstände habe er mitunter ein etwas wundes Gefühl in der Speiseröhre. Gute Schluckfähigkeit.

2. Sept. 1921. Befinden unverändert. Gewichtszunahme insgesamt 11 Pfund. Radiumsonderbestrahlung (50 mg Ra.El., 1 mm Messingfilter, 4½ Stunden).

16. Sept. 1921. Wohlbefinden. Hat inzwischen seinen Beruf als Eisenbohrer wieder aufgenommen. Schluckt alles ohne Beschwerden. Gewicht: 124 Pfund. Wiederholung der Bestrahlung in gleicher Technik. Bestrahlungszeit 5 Stunden.

29. Sept. 1921. Pat. gräbt Kartoffeln, fühlt sich wohl und kräftig. Beim Schlucken wiederum mitunter Gefühl des Wundseins.

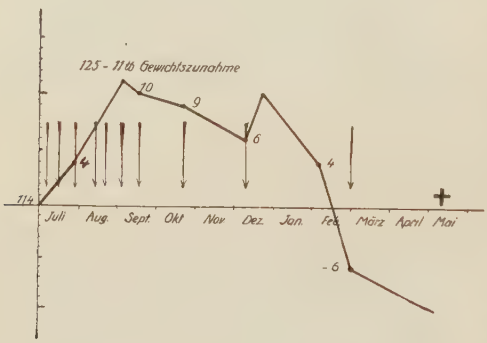


Abb. 20. Gewichtskurve zu Fall Albert B.

20. Okt. 1921. Keine Schluckbeschwerden, arbeitsfähig. Wiederholung der Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

9. Dez. 1921. Pat. hat Erkältung überstanden. 4 Pfund Gewichtsabnahme. Schluckvermögen unverändert gut. Radiumbestrahlung in gleicher Technik, 4½ Stunden. Das umstehende Bild zeigt, wie auch jetzt noch die Durchgängigkeit der Speiseröhre eine ausgezeichnete ist (Abb. 18).

28. Dez. 1921. Nach Bestrahlung leichtes Brennen in der Speiseröhre. Pat. arbeitet weiter. Gewicht wieder 124 Pfund. Wiederholung der Bestrahlung in gleicher Technik, 5½ Stunden.

23. Febr. 1922. Plötzlich rasche Gewichtsabnahme. Gewicht jetzt 108 Pfund. Pat. macht einen ausgesprochenen kachektischen Eindruck. Hat die Arbeit seit einigen Tagen eingestellt. Schlukken fast ganz unbehindert. Bestrahlung in gleicher Technik, 5½ Stunden.

4. März 1922. Schlucken weiterhin möglich. Weitere Gewichtsabnahme um 3 Pfund. Pat. fühlt sich wesentlich schlechter.

12. Mai 1922. Exitus mitgeteilt.

Fall 8. Franz K.

20. Mai 1922. 55 Jahre alt, Schluckbeschwerden seit 4 Monaten. Im letzten Monat konnte Pat. nur noch Flüssigkeiten schlucken. Karzinomatöse Stenose in Höhe der Bifurkation deutlich vor dem Röntgenschirm erkennbar.

27. Mai 1922. Gastrostomie. Fadenschlucken und Fadenauffinden von der Magenfistelstelle aus (12. Juni) gelingt ohne Schwierigkeit.

12. Juni 1922. 1. Bestrahlung (55 mg Ra.El., ½ mm Messingfilter, 5½ Stunden). Gewicht 110 Pfund.

22. Juli 1922. Schluckbehinderung ließ 8 Tage nach der 1. Bestrahlung wesentlich nach. Pat. ernährte sich danach nur per os, allerdings vorwiegend mit flüssigen und breiigen Speisen. Gewicht 115 Pfund. 2. Bestrahlung in gleicher Technik, 6 Stunden.

19. Sept. 1922. Pat. teilt mit, daß die Bestrahlung sehr gut gewirkt habe, er könne alle Speisen von oben schlucken und befände sich sehr wohl. Nur die Gastrostomiestelle hindere ihn etwas, sonst würde er seine Arbeit als Maurer wieder aufnehmen. Gewicht 122 Pfund.

27. Sept. 1922. Befinden unverändert. Die Stenose ist bei der Röntgenuntersuchung gerade noch erkennbar. 3. Bestrahlung in gleicher Technik, 5½ Stunden.

19. Okt. 1922. Das Schlucken geht in letzter Zeit schlechter, feste Speisen bleiben stecken.

Abb. 21. Fall Franz K. vor Bestrahlung. („Sondierung ohne Ende“.) Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

Abb. 22. 4 Monate nach Beginn der Bestrahlungen.

Der Kranke ernährt sich per os nur mit breiigen Speisen. Gewicht 115½ Pfund. 4. Bestrahlung, 5½ Stunden.

16. Jan. 1923. Schlucken nach der Bestrahlung wieder gebessert, Auftreten von starken Rückenschmerzen. Patient fühlt sich matter. Gewicht 112 Pfund.

3. März 1923, Exitus.

Fall 11. August S.

3. Okt. 1922. 68 Jahre alt. Seit 4 Monaten Schluckbeschwerden. Pat. lebt seit 6 Wochen nur noch von flüssigen und breiigen Nahrungsmitteln. In den letzten Tagen gelangen auch Flüssigkeiten nur unter Schwierigkeiten in den Magen. Abgemagerter Mann. Gewicht 108 Pfund. Im Röntgenbild karzinomatöse Stenose in Gegend der Herzbasis. Anlegung einer Gastrostomie.

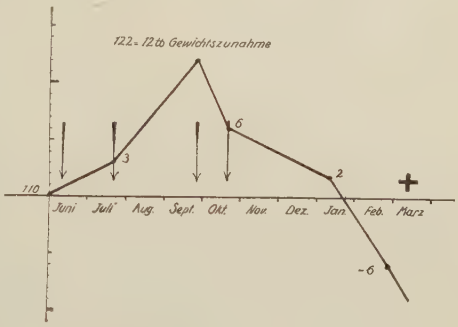


Abb. 23. Gewichtskurve zu Fall Franz R.

19. Okt. 1922. 1. Bestrahlung nach dem Verfahren der „Sondierung ohne Ende“. Es hat 3 Tage gedauert, bis der Seidenfaden in den Magen gelangte. (½ mm Messingfilter, 50 mg Ra.El., Bestrahlungszeit 5½ Stunden.) Gewicht 107 Pfund.

18. Dez. 1922. Der Kranke erscheint 4 Wochen später als er bestellt war. Er hat sich sehr erholt. Kann breiige Kost ohne Schwierigkeit per os zu sich nehmen. Gewicht 120 Pfund. 2. Bestrahlung in gleicher Technik, 6 Stunden.

8. Febr. 1923. Der Kranke erscheint wiederum 1 Monat später als er bestellt war. Er gibt an, daß er jetzt alles ohne Mühe von oben her schlucken kann, er hat auch seinen Beruf als Brauereiarbeiter wieder aufgenommen. Gewicht 125 Pfund. 3. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

14. 3. 1923. Befinden unverändert gut, arbeitsfähig, Schluckfähigkeit ausgezeichnet. Gewicht 126 Pfund (19 Pfund Gewichtszunahme seit Beginn der Radiumbehandlung). 4. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

1. Mai 1923. Schluckfähigkeit jetzt normal. Der Pat. arbeitet, wiegt 125 Pfund. 5. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

21. Juni 1923. Der Kranke hat weiter gearbeitet. Vor dem Röntgenschirm ist zwar die Stenose noch bemerkbar, der betreffende Speiseröhrenabschnitt erscheint etwas starr, der Bariumbrei gleitet aber fast ohne Aufenthalt in den Magen. Gewicht 124 Pfund, 6. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

22. Aug. 1923. Befinden unverändert. Etwas Gewichtsabnahme (118 Pfund). 7. Bestrahlung, 5 Stunden.

25. Okt. 1923. Pat. ernährt sich weiter nur per os. Hat den dringenden Wunsch, den Schlauch nicht mehr tragen zu brauchen. Gewicht 117 Pfund. 8. Bestrahlung, 5 Stunden.

20. Dez. 1923. Das Schluckvermögen ist ausgezeichnet. Pat. hat eine Grippe überstanden und fühlt sich noch recht elend. Er arbeitet jetzt nicht mehr. Gewicht 108 Pfund. 9. Bestrahlung, 6 Stunden.

1. März 1924. Der Kranke hat sich von seiner Grippe gut erholt, er sieht frisch aus, kann alles von oben essen. Gewicht 116 Pfund. 10. Bestrahlung, 5½ Stunden.

16. April 1924. Schluckfähigkeit gut. Patient klagt über Schmerzen im Rücken. Die frühere Stenose ist an der Starrwandigkeit des betreffenden Speiseröhrenabschnittes zu erkennen. Gewicht 113 Pfund. 11. Bestrahlung, 6 Stunden.

12. Mai 1924. Die Schmerzen im Rücken sind sehr stark. Metastasen sind nicht nachzuweisen, der Kranke sieht aber verfallen aus. Gewichtsabnahme: 106 Pfund. Da keine wesentliche Schluckbehinderung, wird von weiteren Bestrahlungen abgesehen.

Anfang Juni Exitus.

Abb. 24. Gewichtskurve zu Fall August S.

Fall 3. Frau M. S., 39 Jahre alt.

Seit 7 Monaten Schluckbeschwerden. In den letzten 3 Monaten können nur ganz klein zerkleinerte Speisen geschluckt werden. In der Universitätsklinik für Ohren-, Hals- und Nasenkrankheiten (Geh. Rat Prof. Dr. Stenger) wird ein Tumor am Beginn der Speiseröhre festgestellt; die Probeexzision ergibt ein Karzinom. Da das Schluckvermögen der Pat. von Tag zu Tag abnimmt, wird sie in die Chirurgische Universitätsklinik verlegt und dort am 18. August die Gastrostomie vorgenommen. Am 5. September wird mit den Schluckversuchen begonnen. Das Herunterbringen des Fadens macht keinerlei Schwierigkeiten, wohl aber gelingt das Auffischen des Seidenfadens von der Magenfistel des langen Witzelkanals wegen zunächst nicht. In Lokalanästhesie wird eine Inzision an der Stelle der äußeren Mündung der Gastrostomie vorgenommen. Dadurch wird der Knick im Verlauf der Witzelfistel ausgeglichen, und das Auffinden des Seidenfadens mit dem Haken gelingt ohne Schwierigkeiten.

7. Sept. 1921. 1. Radiumbestrahlung. Das nebenstehende Röntgenbild nach Kontrastfüllung (Abb. 25) zeigt deutlich die Tumoraussparung. Gewicht: 102 Pfund. 1. Radiumbestrahlung in der beschriebenen Technik (50 mg Ra.El., ½ mm Messingfilter, 5 Stunden). Abb. 26 gibt den Radiumträger in situ wieder, der Zungenbeinschatten gestattet auf einfachste Weise die richtige Lokalisation. 5 Tage später stellt sich bereits bessere Schluckfähigkeit ein. Eine Birne kann gegessen werden.

14. Sept. 1921. 2. Radiumbestrahlung in gleicher Technik 5½ Stunden.

22. Sept. 1921. 3. Radiumbestrahlung 5 Stunden. Pat. kann bereits wesentlich besser schlucken, ernährt sich fast ausschließlich vom Munde her. Wird nach Hause entlassen.

Abb. 25. Fall Frau M. S. vor Bestrahlung. Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

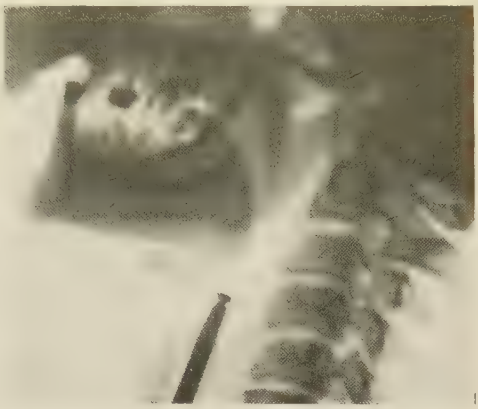


Abb. 26. Radiumträger in situ. (Faden ohne Ende.)

22. Okt. 1921. Trifft folgender Brief ein: „Ich habe zu Hause alle Hausarbeit verrichten können, nur Kartoffelausnehmen konnte ich nicht, weil mich beim Bücken der Magenschlauch hinderte. Schlucken konnte ich sämtliche Speisen, beinahe wie früher. Nahrung durch den Schlauch habe ich überhaupt nicht zu mir genommen. Brot, feste Speisen, alles habe ich schlucken können. In diesen

Abb. 27. $5^1/_2$ Monate nach Beginn der Bestrahlung.

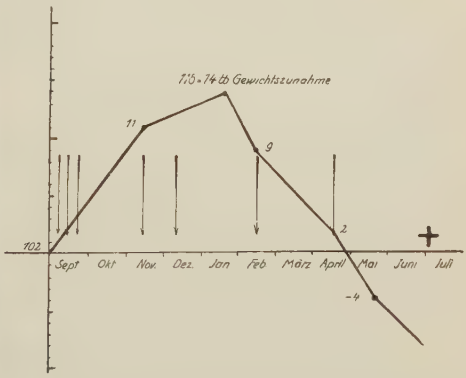


Abb. 28. Gewichtskurve zu Fall Frau M. S.

4 Wochen habe ich 11 Pfund zugenommen und wiege 116 Pfund. Wenn ich nicht den Magenschlauch hätte, fühlte ich mich ganz gesund.“ (Abb. 11).

14. Nov. 1921. 4. Radiumbestrahlung, 4 Stunden. Pat. gibt an, mitunter leichtes Brennen in dem oberen Teile der Speiseröhre zu verspüren. Gewicht unverändert. Schluckfähigkeit nahezu unbehindert.

9. Dez. 1921. 5. Radiumbestrahlung, 4½ Stunden. Pat. hat nur von oben gegessen. Feste Speisen hätten aber mitunter „gehakt".

17. Jan. 1922. Trifft folgender Brief ein: „Mir ist es während dieser Zeit ganz gut gegangen, hauptsächlich die Feiertage habe ich gut verlebt, auch alles dazu bereiten können, es geht immer gut. Die letzte Radiumbestrahlung hat vorzüglich gewirkt, ich habe bis jetzt alles von oben essen können, unser Landbrot und alles andere." 116 Pfund.

15. Febr. 1922. 6. Radiumbestrahlung, 5 Stunden. Schluckfähigkeit gut. (Röntgenbefund s. Abb. 27.)

17. April 1922. 7. Radiumbestrahlung. Schluckfähigkeit hat etwas nachgelassen. Pat. ist aber imstande, sich ganz von oben her zu ernähren. In der letzten Zeit ist eine wesentliche Gewichtsabnahme eingetreten. Pat. wiegt jetzt 104 Pfund. Ende Juni gestorben.

Fall 9. Berta M., 64 Jahre.

1. Sept. 1922. Seit 3 Monaten Schluckbehinderung. In letzter Zeit können auch Flüssigkeiten nur mit Mühe geschluckt werden. Sehr starke Abmagerung. Gewicht 82 Pfund. Die Stenose sitzt in der Höhe der Bifurkation. Anlegen einer Gastrostomie.

20. Sept. 1922. Keine nennenswerte Besserung der Schluckfähigkeit seit Anlegen der Magenfistel. Gewicht unverändert. Das Schlucken des Fadens macht einige Schwierigkeit (Darreichung von Papaverin). Das Fischen des Fadens von der Magenfistel aus gelingt ohne weiteres. 1. Bestrahlung (½ mm Messingfilter, 60 mg Ra.El., 5 Stunden).

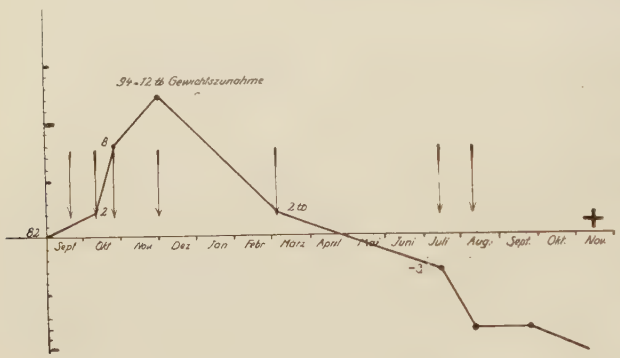


Abb. 29. Gewichtskurve zu Fall Bertha M.

10. Nov. 1922. Pat. kann jetzt flüssige und breiige Speisen gut schlucken. Gewicht 84 Pfund. 2. Bestrahlung in gleicher Technik, 5 Stunden.

25. Nov. 1922. Schluckfähigkeit unverändert. Gewicht 90 Pfund. 3. Bestrahlung, 5 Stunden.

30. Nov. 1922. Nach der 3. Bestrahlung gibt die Kranke an „sei die Schluckfähigkeit ausgezeichnet", sie könne jetzt auch feste Speisen fast ohne Behinderung schlucken. Gewicht 90 Pfund. 4. Bestrahlung, 5 Stunden.

2. März 1923. Die Kranke ist bisher nicht zur Behandlung erschienen, weil es ihr gut geht. Sie konnte ihrer Hausfrauentätigkeit durchaus nachgehen, wurde dabei nur durch den Gastrostomieschlauch etwas behindert. In letzter Zeit wieder etwas Schluckbehinderung. Gewicht 84 Pfund. 5. Bestrahlung, 5 Stunden.

14. Juli 1923. Die Schluckfähigkeit ist nach der Bestrahlung wieder hergestellt gewesen, die Kranke kann alles essen. Röntgenologisch ist keine Stenose mehr nachweisbar, das Radium daher schwierig zu lokalisieren. Gewicht 79 Pfund. 6. Bestrahlung, 5 Stunden.

8. Aug. 1923. Die Schluckfähigkeit ist weiter gut, die Pat. fühlt sich aber zunehmend etwas schwächer. Metastasen sind nicht nachweisbar. Gewichtsabnahme: 74 Pfund. 7. Bestrahlung. 5 Stunden.

15. Sept. 1923. Pat. ist ziemlich schwach. Da keine nennenswerte Schluckbehinderung besteht, wird von weiteren Bestrahlungen Abstand genommen.

Anfang November Exitus.

Unsere Meinung von der Zweckmäßigkeit der Einführung des Radiums mit Faden „ohne Ende" fand ihre Bestätigung durch einen von Beck mitgeteilten Fall, über dessen Verlauf wir das Wesentlichste wiedergeben:

Es handelte sich um einen 49 Jahre alten Arbeiter. Bei der ösophagoskopischen Untersuchung fand sich 38 cm hinter der Zahnreihe ein Ulkus. Die Probeexzision ergab, daß es sich um ein sicheres Plattenepithelkarzinom handelte. Anlegung der Magenfistel. Die Radiumkapsel wurde mit Hilfe eines „Fadens ohne Ende" durch den Mund in die Stenose hineingezogen und blieb dort 72 Stunden liegen (20 mg Radiumbromid in einer Glasröhre und 1½ mm dicken Messingkapsel eingeschlossen, darüber eine 1 mm dicke Bleikapsel, darüber ein dünner Gummischlauch).

Nach einigen Wochen Besserung des Schluckvermögens. Die Gastrostomie ward ein Vierteljahr aufrechtgehalten und schloß sich nach Entfernung des Schlauches spontan.

Der Kranke klagte in der ersten Zeit ab und zu noch über einen Druck über dem Brustbein, doch gingen alle Speisen durch den Ösophagus ohne Schwierigkeiten durch. Vor dem Röntgenschirm war zu erkennen, daß auch dicker Brei die Speiseröhre bis zum Magen passierte. Der Pat. arbeitete 2 Jahre als vollwertiger Arbeiter und sah bei der letzten Nachuntersuchung (2½ Jahre nach Beginn der Behandlung) kräftig und wohlgenährt aus.

b) Grundlagen und Aussichten moderner Bestrahlungsweise.

Wie wir gesehen haben, steht und fällt der Nutzen der Radiumbestrahlung beim Speiseröhrenkrebs mit der richtigen Lokalisation und Fixierung des Radiums. Nur dann kann ein Erfolg erwartet werden, wenn das gefilterte Radium sich in unmittelbarer Nähe der Geschwulst befindet, daher ist die richtige Applikation des Radiums unsere wichtigste Aufgabe. Wird diese gelöst, wie es durch die Methode der „Sondierung ohne Ende" fast immer gelingt, so sind bei genügender Radiosensibilität des Tumors und bei richtiger Filterung und Dosierung des Radiums Erfolge zu erwarten.

Eingangs wurde darauf hingewiesen, daß es sich bei der Mehrzahl der Speiseröhrenkrebse um Plattenepithelkarzinome handelt. Guisez schrieb bereits, daß das Ösophaguskarzinom „mit den Hautkrebsen die allergrößten Analogien zeigt, sowohl was seine Struktur als auch was seine Entwicklung anbelangt". Lewin betonte, daß diese Tumoren „lange Zeit hindurch lokalisiert bleiben und daher für die Bestrahlung mit radioaktiven Substanzen bei Anwendung geeigneter Technik und genügender Vorsichtsmaßregeln besonders günstig sind". Dazu kommt die in der Regel späte Metastasierung des Speiseröhrenkrebses, wenn auch Ausnahmen vorkommen und stenosierende Metastasen sogar den Primärtumor vortäuschen können (s. Einl. Abb. 1).

Die Hautkrebse reagieren bekanntlich auf Radiumstrahlen oft günstig, sogar in solchen Fällen, in denen Röntgenbestrahlungen wirkungslos bleiben. Solche Erfahrungen sind wiederholt gemacht worden (Werner, Bayet, Keetmann). Man wäre also berechtigt, auf Grund der histologischen Analogie Erfolge zu erwarten. Auch Gauß teilte mit, daß schlecht auf hohe Röntgendosen reagierende Karzinome mitunter gut durch Radium und Mesothorium beeinflußbar sind. Newcomet sah ebenfalls in einzelnen Fällen gute Erfolge mit der Radiumbehandlung, nachdem Röntgenstrahlen wirkungslos geblieben waren. Das Versagen der Röntgenstrahlen gegenüber dem Ösophaguskarzinom, läßt also keinen Rückschluß auf die Beeinflußbarkeit dieser Geschwulstform mit Radium zu.

Das für das Radium Gesagte gilt in gleicher Weise für das Mesothorium. Nach den Untersuchungen von Krönig und Friedrich haben Radium und Mesothorium bei gleicher Dosis und gleicher Intensität bei einer Filterung durch 1,5 mm Messing und 5 mm Zelluloid die gleiche biologische Wirkung.

Ob Unterschiede der Radiosensibilität der einzelnen Ösophaguskarzinome bestehen, ist nicht sicher. Wetterer ist der Ansicht, daß besonders die glatten infiltrierend wachsenden Formen des Speiseröhrenkrebses ein dankbares Objekt der Radiumbestrahlung sind. „Stark ulzerierte oder verhornende Krebse geben weniger dauerhafte Resultate." Guisez schien es ebenfalls, „als ob bei den wenig granulierenden Formen, also bei den mehr infiltrierenden, beim Skirrhus, die Radiumwirkung eine ausgiebigere und dauerhaftere war". Präzise Regeln können aber nicht aufgestellt werden. Wir sahen auch bei der zellreichen, tumorbildenden Form des Ösophaguskarzinoms mitunter gute und über Jahresfrist andauernde Erfolge. Dieselbe Erfahrung machte Hotz.

Die Ulzeration des Tumors kann als unerheblich angesehen werden, da nach den Bestrahlungen in allen Fällen eine Zerstörung der Oberfläche eintritt. „Wir sind überzeugt, daß eine elektive Ausrottung des Karzinoms kaum möglich ist, es wird sicher auch von normaler Schleimhaut etwas zerstört, und der Vernarbungsprozeß ähnelt dann demjenigen nach Verätzungen" (Suter). Bereits Exner wies nach, daß der Einfluß der Radiumstrahlen auf das Karzinomgewebe in einer Nekrobiose der Tumorzellen mit Vakuolisation und schließlichen Schwund und endlich im Auftreten einer sklerosierenden Bindegewebsneubildung besteht. Drei Typen von Veränderungen sind besonders erkennbar. 1. Entzündung und Nekrose an der bestrahlten Oberfläche. 2. Degeneration der Neoplasmazellen bis zur vollständigen Resorption. 3. Zunahme des Bindegewebes und Gefäßveränderungen. Die Veränderung an den Krebszellen des Ösophaguskarzinoms geht immer, mehr oder weniger, mit einer Zerstörung normalen Gewebes Hand in Hand. Inwieweit die Schädigung, welche die Karzinomzellen durch die Radiumstrahlen erleiden, stärker ist, mit welcher Berechtigung man also von einer elektiven Radiumwirkung reden kann, ist umstritten.

Latzko und Schüller (1913) waren der Ansicht, daß es gelingt, die Zellen bösartiger Neubildungen „nicht nur nach Art eines chemischen oder thermischen Kaustikums mitsamt dem umgebenden Gewebe zu zerstören, sondern geradezu elektiv zum Schwinden zu bringen". Derselben Meinung waren Wickham und Degrais (1913). Die Rückbildungen „werden nicht etwa durch nekrotische und entzündliche Zerstörung, durch Verbrennung, wie sie etwa ein Ätzmittel hervorrufen würde, sondern durch eine elektive Einwirkung der Strahlen auf die Zellen des Tumors herbeigeführt". Auch Rupp (1914) wandte sich gegen die Skeptiker, welche behaupteten, daß das Radium nichts anderes sei als ein Ätzmittel wie das Chlorzink und der Thermokauter.

Ranzi und Sparmann konnten sich dagegen klinisch in keinem ihrer Fälle von der elektiven Wirkung des Radiums auf Tumorzellen überzeugen, so daß „das Radium keinerlei Unterschied in seiner nekrotisierenden Wirkung zwischen gesundem und krankem Gewebe, zwischen Tumor und Umgebung macht". Etwas weniger entschieden war das Urteil von Arzt und Schrameck (1915): „Weit entfernt das Radium als Allheilmittel des Karzinoms ansehen zu wollen und ihm eine unbedingt elektive Wirkung auf Geschwülste zuzusprechen, glauben wir doch, daß bei sachgemäßer vorsichtiger Bestrahlung der Karzinomtherapie ein weiterer Weg eröffnet werde, der aussichtsreiche Hoffnungen für die Zukunft bietet."

Wetterer (1920) hält eine elektive Wirkung nur in den Fällen für vorliegend, bei denen eine genügende Radiosensibilität besteht. Auch Loeper (1920) hält es für unbestreitbar, daß das Radium auf das karzinomatöse Gewebe des Speiseröhrenkrebses einwirkt, nur ist die Wirkung seiner Meinung nach nicht so stark wie beim Uteruskarzinom, aber immerhin größer als beim Mastdarmkrebs.

Für den Speiseröhrenkrebs erscheint jedenfalls die Frage der elektiven Wirkung der Radiumstrahlen noch nicht sicher geklärt. Wir glauben, daß Perthes' Worte über die Röntgenstrahlenwirkung sich auch auf das Radium übertragen lassen, „die Schädigung, die die Folge aller stärkeren Bestrahlungen ist, trifft zweifellos die Tumorzelle schwerer als die normale Zelle der Nachbarschaft", und „es handelt sich um eine relativ elektive Wirkung". Immerhin wird die wahllos Karzinom- und normales Gewebe vernichtende Komponente bei dem Speiseröhrenkrebs ein Faktor bleiben, mit dem man bei der Bestrahlung rechnen muß. Man muß sich dieser zerstörenden Wirkung bis zu einem gewissen Grade bedienen und wird eine elektive Wirkung zwar erhoffen, aber nicht mit Sicherheit erwarten dürfen.

Sowohl für die Karzinome im allgemeinen als für den Speiseröhrenkrebs im besonderen ist es sehr fraglich, ob es eine Reizdosis in dem Sinne gibt, daß unzureichend mit Radium bestrahlte Karzinome vermehrt wachsen, eine Ansicht, welche Wickham und Degrais 1914 vertraten.

„Sicherlich ist es erforderlich, daß die radioaktive Kraft alle kranken Zellen angreift, aber ebenso und vor allem ist es erforderlich, daß sie sie in ausreichender Menge angreift, daß sie anatomisch zerstört werden. Im Falle einer ungenügenden Einwirkung würden sie im Gegenteil eine Radioreizung erleiden. Wenn wir diesen Punkt betonen, so geschieht es deshalb, weil wir zu häufig Mißerfolge sahen, die durch ungenügende Radiummengen verursacht waren. Vorerst ist zu fordern, daß das Radium alle schädigenden Elemente angreift. Dieser Angriff muß möglichst gleichmäßig zur selben Zeit erfolgen und besonders auf die und auf seine Peripherie einwirken."

Die Furcht vor der „Reizdosis" erscheint heute ziemlich unbegründet.

Werner (1923) ist ebenfalls der Meinung, daß es „eine fixe Reizdosis im Sinne eines bestimmten Prozentsatzes der H.E.D. nicht gibt". „Von den zahlreichen Schwachbestrahlungen in den ersten Jahren der Radiumbehandlung sind sicher nicht mehr Reizungen verschuldet worden, als später in der Ära der großen massiven Dosen." „Ich kann mich aber nicht entschließen, die Abhängigkeit der Wachstumssteigerung von einer bestimmten Dosis anzuerkennen."

Wir glauben nicht, daß die Anschauung Wickhams und Degrais' über die Gefahr der Radiumreizung in bezug auf das Ösophaguskarzinum zu Recht besteht. Ihre Forderung einer gleichmäßigen Bestrahlung, die besonders die Basis und Peripherie betreffen soll, ist übrigens für das Ösophaguskarzinom leider unerfüllbar, weil die Tiefenwirkung des Radiums trotz der Filterung ziemlich gering bleibt. Weder Kreuzfeuerbestrahlung noch stärkere Distanzierung, durch welche eine Erhöhung der Tiefenwirkung erzielt werden könnte, sind beim Speiseröhrenkrebs anwendbar; es bleibt also eine „quantitative Inhomogenität" der Bestrahlung bestehen.

Wickham und Degrais schätzten die Tiefe, bis zu der vermittels der Methode des „Kreuzfeuers" die Tumorzellen noch wirksam beeinflußt werden, auf etwa 9 cm. Beim Ösophaguskarzinom wird man mit viel kleineren Zahlen, mit Millimetern, rechnen müssen. Nach Jünglings Messungen sind 14 H.E.D. an der Berührungsstelle mit dem Röhrchen nötig, um in 1 cm Tiefe noch eine H.E.D. zu haben. Der Speiseröhrenkrebs ist daher stets an der Oberfläche der weitaus stärksten Bestrahlung ausgesetzt, und die Strahlenmenge nimmt nach der Tiefe hin so stark ab, daß eine erhebliche Überdosierung an der Oberfläche nötig ist, um überhaupt eine nennenswerte Strahlenwirkung in den tiefer gelegenen Schichten des Tumors zu erhalten.

Das Distanzieren des Radiums, also die Vermehrung des Abstandes der strahlenden Substanz, von der Tumoroberfläche ist beim Speiseröhrenkrebs oft gar nicht, gewöhnlich nur in ganz bescheidenem Maße möglich, da voluminöse Radiumträger sich nicht in die Tumorenge ziehen lassen. Man wird also auch bei der Benutzung der hier anwendbaren Distanzierung mit dem Vorwiegen der Oberflächenwirkung rechnen müssen.

Daher sind die Aussichten der Radikalheilung des Ösophaguskarzinoms, auch wenn theoretisch durch das Radium bei geeigneter Einwirkung die Heilung erzielt werden könnte, schlecht, weil eine solche „geeignete Einwirkung" eben nicht möglich ist. Je größer der Tumor ist, besonders in seiner Tiefenausdehnung, je mehr wird es sich nur um eine Zerstörung seiner Oberfläche handeln, während die tiefgelegenen Tumorschichten weiter wachsen. Je kleiner und flacher der Krebs, um so eher ist die zureichende Bestrahlung möglich, nur bei beginnenden Fällen können also Dauererfolge erwartet werden. In der überwiegenden Mehrzahl der

Fälle wird man sich mit einer Verkleinerung des Tumors begnügen müssen.

Wir haben Gelegenheit gehabt, an einem Kranken mit Ösophaguskrebs, der 10 Tage nach der 5. Radiumbestrahlung an einer Pneumonie starb, die Radiumwirkung auf den Tumor und seine Umgebung bei der Autopsie untersuchen zu können.

Pat. A. C., 64 Jahre alt. 8 Monate vor Beginn der Behandlung bestanden Schluckbeschwerden. Die Untersuchung ergab ein ulceriertes, strikturierendes Karzinom der tumorbildenden Form in der Höhe der Bifurkation (s. Abb. 30). Anlegung einer Magenfistel und Bestrahlungen vermittels der „Sondierung ohne Ende“ (½ mm Messingfilter je 5 Stunden, 2 mal wurde mit ½ mm Leinwand distan-

Abb. 30. Fall A. C. der Bestrahlung.

Abb. 31. Fall A. C. 3 Monate nach Beginn der Bestrahlungen. (Faden ohne Ende). Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

ziert). Die Stenose wurde weiter (Abb. 31). Die Schluckbeschwerden wurden behoben, der Kranke nahm etwas an Gewicht zu und tat seinen Dienst als Nachtwächter. Im Anschluß an die 5. Bestrahlung Bronchopneumonie, welcher der Kranke nach einer Gesamtbehandlungsdauer von 7 Monaten erlag.

Die Autopsie ergab eine tiefe, teilweise vernarbte Verätzung an der Stelle des Sitzes des einstigen Tumors (Abb. 32). Die Wand der Speiseröhre war narbig verdickt, reich an Bindegewebsfasern, das Lumen nicht nennenswert verengt. Am unteren Rande des Ulkus befand sich ein Karzinomrest, im übrigen ließ sich in der Wand des Ulkus Karzinomgewebe histologisch nicht mehr nachweisen.

Die Kunst der Bestrahlung besteht darin, von der zerstörenden Komponente in genügender Weise Gebrauch zu machen, ohne grobe Schädigungen der gesunden Nachbarschaft zu setzen. Es liegt auf der Hand, daß durch die Wirkungsweise der Radiumstrahlen auf das Ösophaguskarzinom beim Vorliegen besonderer anatomischer Verhältnisse und bei ungeeigneter Dosierung, Gefahren bedingt sind. Diese Gefahren bestehen besonders in Blutungen aus arrodierten größeren Gefäßen

und in Perforationen der morschen Ösophaguswand mit nachfolgender Infektion der Umgebung. Die Pleurahöhle kann eröffnet werden, ein Pyopneumothorax kann entstehen, der Einbruch in die Luftwege, in die Trachea, die Bronchien, die Lunge, führt zu Pneumonien. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß auch ohne Bestrahlungen alle diese Vorkommnisse nichts Seltenes sind, so kann es nicht wundernehmen, wenn sie auch nach Radiumbestrahlungen gelegentlich auftreten. Indessen kann nicht geleugnet werden, daß der Eintritt dieser Ereignisse auch durch eine kunstgerechte Radiumwirkung befördert werden kann. Auf diese Gefahren ist wiederholt hingewiesen worden, so z. B. von Exner, Rupp, Hotz, Lewin, Werner, Wittmaak u. a.

Schindler z. B. hat 1913 nach einer Bestrahlung, die er gemeinschaftlich mit H. Marschik vornahm, eine Perforation gesehen:

„Doch war in diesem Falle aus dem ganzen klinischen Verlauf und den geringen aufgewendeten Strahlendosen beim Auftreten der Perforation (30 mg Mesothorium, Filter 1 mm Silber mit Kautschukeinlage) mit Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß die Perforation, die schon nach der zweiten einstündigen Sitzung vorhanden war, nicht auf die Bestrahlung zurückgeführt werden muß, sondern jedenfalls auch ohne dieselbe zustande gekommen wäre."

In einem Falle von Stubenrauch erlag der Kranke einer in das Perikard erfolgten Perforation nach vorangegangenen Bestrahlungen mit Mesothorium. Das Karzinom war noch lokal nachweisbar.

Blutungen im Anschluß an Bestrahlungen sind nicht selten, gewöhnlich sind sie aber nicht sehr stark. Sie pflegen meist 5—10 Tage nach der Sitzung zu beginnen, wenn die Tumornekrosen sich abstoßen. Hotz hat mehrfach Blutungen gesehen „in nur unbedeutendem Maße, zweimal war die Blutung stark". Er behandelte mit Koagulen und ließ Bleibolzen (s. Abb. 33) an einem Faden schlucken, welche in der Art eines Tampons in der blutenden Karzinommenge wirken sollten.

Wir haben bei unseren zahlreichen Radiumbestrahlungen bedrohliche Blutungen bisher nicht erlebt; geringe Blutungen sahen wir mitunter.

Das Auftreten von Blutungen nach Radiumbestrahlungen des Speiseröhrenkrebses wird sich nicht ganz verhindern lassen, immerhin wird man durch nicht zu intensive, lieber öfters wiederholte Bestrahlungen ihr Auftreten einschränken können.

Manchmal treten Schmerzen nach den Bestrahlungen auf. Bei einem unserer Patienten, dessen Allgemeinbefinden sich gebessert hatte, waren Schmerzen im Rücken, welche im Sinne einer Interkostalneuralgie

Abb. 32. Schirmpräparat des Falles A. C. (Exitus 7 Monate nach Beginn der Bestrahlungen, 10 Tage nach letzter Bestrahlung.) Beobachtung der chir. Klinik Königsberg.

nach vorne zu ausstrahlten, das einzige quälende Symptom. Durch paravertebrale Injektionen einer größeren Menge $^1/_2$%iger Novokainlösung gelang es uns, die Schmerzen auf Monate hinaus vollständig zum Schwinden zu bringen. Gewöhnlich wird es sich allerdings bei diesen Schmerzen nicht nur um Reizerscheinungen handeln, die durch die Bestrahlung ausgelöst werden, sondern um ein Symptom, welches durch den Druck des in seiner Peripherie weiterwachsenden Tumors oder seiner Metastasen bedingt wird.

Dem Nutzen, den wir durch die Radiumbestrahlung vielen Kranken bringen können, steht also eine Gefährdung in einzelnen Fällen gegenüber. Mit Wittmaack bin ich der Meinung, daß diese gelegentlichen Komplikationen nicht geeignet sind, den Wert des Radiums, unseres einzigen Heilmittels dem Speiseröhrenkrebs gegenüber, wesentlich herabzusetzen.

Die Wahl des Filtermaterials tritt an Bedeutung zurück. Benutzt werden besonders Blei, Silber, Gold, Messing, mitunter auch Zelluloid. Über die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Filtermetalle herrscht keine Klarheit.

Bracht z. B. meint, daß die beliebte Filterung durch Blei „nicht im geringsten imstande sei, die quantitative, biologische Wirkung der Radiumemission in einer Tiefe von 2—3 mm unter dem Filter zu steigern". Er hält im Gegenteil eine deutliche Abnahme der Intensität gegenüber ungefilterten Radiumstrahlen für vorliegend. Bracht selbst weist darauf hin, daß die große Differenz seiner Untersuchungsergebnisse gegenüber denen von Heimann und Eymer schwer zu erklären sei.

Habs bestrahlte mit 1 mm Bleifilter und Gummiumhüllung. Werner verwandte früher 3 mm Bleifilter und ist dann zu 1½—2 mm Messing übergegangen.

In letzter Zeit ist man mehr und mehr von den sehr starken Filterungen abgekommen, weil dadurch die Bestrahlungszeit stark verlängert wird, und es aus den dargelegten Gründen doch nicht gelingt, eine wesentliche Verbesserung der Homogenität der Bestrahlung zu erreichen

Die Nekrose, die Anätzung des Tumors durch Verwendung eines Teiles der β-Strahlen wird von verschiedenen Autoren geradezu angestrebt. Knox vom Krebshospital London (1914) benutzte fast ausschließlich β-Strahlen, um Nekrosen der Tumoren zu erzielen. Wendel (1913) benutzte das Radium mit Goldfilterung ohne Gummiüberzug, damit eine direkte Wirkung, auch der Sekundärstrahlen, auf den Tumor erreicht wurde. Auch Hotz (1921) bezeichnet die weiche Strahlung als nützlich. Er bestrahlt mit Silberfiltern, bei denen „neben den harten γ-Strahlen auch die weicheren β-Gruppen stark zur Wirkung kommen". Stärkere Filterung und Gummiüberzüge hält er mit Recht für unangebracht, weil solch voluminöse Radiumkapseln nicht in die Stenose eindringen.

Für unsere Zwecke erscheinen die in der gynäkologischen Bestrahlungspraxis benutzten starken Bleifilter nicht sehr geeignet, da sie, ebenso wie Platin und Gold, „die γ-Strahlen wesentlich schwächen und dabei weiche, schädliche Sekundärstrahlen liefern" (Keetmann). Bekanntlich senden alle von γ-Strahlen getroffenen Körper sekundäre β-Strahlen aus, die bei Elementen mit hohem Atomgewicht nur zum kleinen Teil die Reichweite der primaren β-Strahlen besitzen, zum größten Teil aber viel weicher sind, so daß sie kaum mehr als 1 mm in die Tiefe dringen (Keetmann). Dazu kommt, daß in dem Augenblick, in dem Strahlen einer bestimmten Wellenlänge auf Körper treffen, ein resonanzartiges Phänomen erzeugt wird, vermöge dessen der getroffene Körper, z. B. das Filtermetall, eine wesentlich stärkere Sekundärstrahlung aussendet. Diese Strahlung wird als Eigenstrahlung, Resonanzstrahlung oder auch Lumineszenzstrahlung bezeichnet (Dessauer). Zur Vermeidung dieser unerwünschten Strahlung benutzt man mit Vorteil Legierungen, wie z. B. das Messing, als Filter, bei dem die Atome des einen Metalles die Eigenstrahlung des anderen unterdrücken. Wir

halten für Bestrahlungen des Ösophaguskarzinoms das Messing für ein geeignetes Filtermaterial.

1 mm Messing genügt, um fast die ganze β-Strahlung abzufiltern. Nach Fernau ist bei 1,2 mm Messing die härteste β-Strahlung bis auf 1 % absorbiert. Wir benutzten $^1/_2$ oder 1 mm Messingfilter und 2 Radiumröhrchen zu je ca. 30 mg Radiumelement. Bei sehr hochgradigen Stenosen bedienten wir uns des schwächeren Filters, um eine stärker zerstörende Wirkung zu erzielen. Wurde im Verlaufe der Behandlung die Stenose geringer, so nahmen wir 1 mm Messing und distanzierten. Letzteres geschah durch einen Leinwandüberzug, durch den ein fester Sitz des Radiumträgers an der Stelle des Karzinomsitzes erzielt wurde.

So erwünscht es auch wäre, klare Regeln für Filterung und Dosierung zu besitzen, deren Befolgung die zweckmäßige Bestrahlung erleichtern und die Gefahren der Methode vermindern würde, wir müssen gestehen, solche Regeln gibt es zur Zeit noch nicht, und es erscheint zweifelhaft, ob sie überhaupt geschaffen werden können. Bisher suchte man vergeblich nach einem Dosimeter, das uns die applizierte Strahlenmenge angibt. Rupp hält „ein solches für überflüssig und den Streit um die Filter, ob Blei oder Messing, unnötig".

Der Satz von Sticker: „Wir dürfen uns nicht auf physikalische Vorstellungen allein verlassen, nur biologische Versuche können uns vor schweren Enttäuschungen bewahren", hat seine Berechtigung. Die Form des Radiumträgers, die Art und Weise, wie die Radiumröhrchen in dem Träger verteilt sind, sind für den Bestrahlungseffekt von besonderem Einfluß und schwierig rechnerisch festzulegen. Eine einfache Angabe von Milligrammstunden ist ziemlich wertlos.

Lahm verlangt die Kenntnis folgender 3 Faktoren: 1. Radiumelementgehalt nach Milligramm. 2. Erythemdosis nach Milligrammstundenzentimeter. 3. Die Verteilung und Form der „Niveauflächen oder Isodynamen". Martius schlägt vor, durch verschieden langes Auflegen des gefilterten Radiums die Erythemzeit zu bestimmen und für tiefere Bestrahlungen die Zeit nach dem Quadratgesetz zu berechnen.

Die Bestrahlungszeit wird meist empirisch auf Grund von Bestrahlungsversuchen und klinischen Beobachtungen gefunden. Hotz berechnet seine Therapie zwar nach mg-Stunden, machte aber dazu weitere wesentliche Angaben:

Seine Radiumkapsel, ein Silberröhrchen, erzeugte auf der Haut nach 6stündiger Bestrahlung eine bullöse Dermatitis, am 4. Tage beginnend, welche nach 3 Wochen ausheilte. Im Karzinomgewebe (Lebermetastase nach Magenkarzinom) entstand ein nekrotischer Zylinder von 1 mm Durchmesser.

Lewin hielt Bestrahlungen von 3—4 Stunden Dauer mit 100 mg Radium, unter Gold- oder Platinfilterung, für ausreichend. Nach Strebel beurteilt man die Wirkung des Radiums am besten dadurch, daß man an der eigenen gesunden Haut Bestrahlungen vornimmt, und aus dem Erfolge der Bestrahlung, der Latenzzeit und der Stärke der Reaktion gewisse Schlüsse zieht. Arzt und Schramek sind der Meinung, daß bei dem Fehlen einer exakten Meßmethode und der Verschiedenheit jedes einzelnen Falles das ausschlaggebende Moment in Erfahrung und klinischer Beobachtung besteht.

Wir überzeugten uns von der Wirksamkeit unseres gefilterten Radiums durch Bestrahlungsversuche am Hund und Menschen, dabei befand sich das Radium in dem später zu den Bestrahlungen benutzten Radiumträger. Die so gefundenen Bestrahlungszeiten wurden durch die späteren klinischen Beobachtungen korrigiert. Bei $^1/_2$ mm Messingfilter und ca. 60 mg Radiumelement (je 30 mg in jedem der beiden Röhrchen) bestrahlten wir 5—6 (—7) Stunden. Darüber hinauszugehen erschien uns nicht ratsam, denn die Zerstörung und Anätzung der Oberfläche

muß in gewissen Schranken gehalten werden, um die bereits besprochenen Gefahren der Bestrahlungen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Das Gesagte bezieht sich auch auf das Mesothorium, zu bedenken ist dabei nur, daß die Mesothoriumstrahlung zeitlich nicht konstant ist, wie dieses, wenigstens praktisch, für die Radiumstrahlung zutrifft. Durch Bildung von Radiothor nimmt die Aktivität des Präparates anfangs zu, um nach einigen Jahren abzufallen. Die Halbwertzeit des Mesothoriums beträgt ca. $5^1/_2$ Jahre.

Eine einzige Bestrahlung genügt nicht, um eine genügende Wirkung herbeizuführen, wenn man sich in den Grenzen zulässiger Intensität hält. Wir wiederholten gewöhnlich die erste Bestrahlung nach 14 Tagen und ließen die weiteren Bestrahlungen in Abständen von 4—5 Wochen folgen. Die Sitzungen sehr schnell aufeinander folgen zu lassen, erscheint uns nicht ratsam, denn nach jeder Bestrahlung kommt es zur Nekrotisierung und Abstoßung der Oberfläche.

Nach dem Untersuchungsergebnis des 10 Tage nach der letzten Bestrahlung obduzierten Falles (s. S. 710, Abb. 30—32), hat es den Anschein, als wenn in dem bestrahlten Bezirk der Speiseröhre eine Bindegewebsvermehrung der Wand einsetzt; diese Wandverdickung ist als ein Schutz gegen eine Perforation anzusehen. Da eine gewisse Zeit vergehen muß, bis eine solche Bindegewebsneubildung entsteht, erscheint es sicherer, zwischen den Bestrahlungen genügende Pausen einzulegen. In den Fällen, in denen der Erfolg nach einer Anzahl von Bestrahlungen eklatant war, in denen die Schluckbehinderung fast ganz beseitigt wurde, haben wir sogar monatelang mit den Bestrahlungen ausgesetzt.

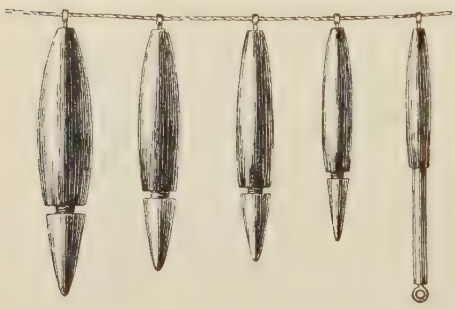


Abb. 33. Bolzen zur Dilatation von Strikturen nach Hotz.

Versuche, feste Speisen per os zu genießen, läßt man die Kranken am besten erst nach Abklingen der Bestrahlungsfolgen vornehmen, Flüssigkeiten (Wasser, Tee usw.) hingegen werden zweckmäßig bald nach der Bestrahlung, so bald sie ohne Schwierigkeit die Stenose passieren, getrunken, denn sie reinigen die Stenose von den durch die Radiumwirkung entstehenden Nekrosen.

Manche Autoren nehmen eine Nachbehandlung der bestrahlten Fälle mit Sonden vor. Wir lehnen die „blinden" Sondierungen strikt ab. Es sei dabei auf das Seite 671 Gesagte hingewiesen. Erinnert sei hier nur daran, daß Hotz bei Bougierungen, von „kundiger Hand" ausgeführt, 2 Kranke an Mediastinitis, bzw. Peritonitis verloren hat.[1]

Hotz versuchte eine Dilatation der Stenose nach den Bestrahlungen dadurch, daß er vernickelte Bleibolzen (Abb. 33) schlucken ließ, die sich an einem Seidenbande befanden. Man „wartet, bis ein Bolzen durch ist, dann wird ein dickerer nachgegeben". Hotz verwendet mehrere Sätze solcher Bolzen, die 4—10 mm Durchmesser haben. „Das Liegenlassen und der Schluckakt treiben die Bolzen langsam und schonend durch die Stenose durch."

Zur Sondierung erscheint ferner die Borcher'sche Peitschensonde gut geeignet. Voraussetzung ist auch hier „daß es gelingt, einen Seidenfaden durch die Speiseröhre in den Magen und durch die Gastrostomiewunde wieder aus ihm herauszubringen. Die Sonde ist aus Seide „Goldblond" geflochten und mit Lack überzogen, wie die üblichen Bougies. Sie ist $1^1/_2$ m lang, mißt an der Basis 1 cm, an

der Spitze $1^1/_2$ mm im Durchmesser und läuft hier in einen Faden aus, an dem das Durchziehen erfolgt." Die Vorzüge dieser Sonde bestehen in ihrer Glätte und in ihrer allmählichen Dickenzunahme, die ein schonendes Bougieren ermöglichen.

Wir haben nur selten Sondierungen beim Ösophaguskarzinom angewandt, und zwar nur Sondierungen „ohne Ende". Sicherlich läßt sich bei lange Zeit bestrahlten Fällen, bei denen also eine gewisse Bindegewebsvermehrung der Wand besteht, die erzielte Schluckfähigkeit durch Sondierungen z. B. mit unserer Perlenkette (Abb. 34) noch steigern, die Kranken setzen aber allzu zahlreichen therapeutischen Handlungen häufig Widerstand entgegen, und es muß daran festgehalten werden, daß die in periodischen Zwischenräumen wiederholten Bestrahlungen wertvoller als Sondierungen sind.

Abb. 34. Perlenkette zur Dilatation von Strikturen. (Sondierung ohne Ende.) (Aus der chir. Klinik Königsberg).

Wird nach dem Verfahren, „der Sondierung ohne Ende" bestrahlt, wie dieses an der Kirschnerschen Klinik die Regel ist, so ergibt sich die Frage, ob überhaupt und zu welchem Zeitpunkte man berechtigt ist, den Magenschlauch zu entfernen, und die Gastrostomiestelle heilen zu lassen. Von der großen Mehrzahl unserer Kranken wird dieser Wunsch geäußert, besonders von denjenigen, die wieder arbeiten wollen und auf den Ertrag ihrer Arbeit angewiesen sind. Einige Kranken entfernten sogar eigenmächtig, gegen unseren Rat den Schlauch, um wieder in vollem Umfange erwerbsfähig zu werden.

Wir stehen auf dem Standpunkte, daß man auch nach der Herstellung völliger Schluckfähigkeit die Verantwortung nicht übernehmen kann, die Gastrostomiestelle sich schließen zu lassen. Verengt sich die Stenose durch Weiterwachsen des Karzinoms wiederum, so hat man sich der Möglichkeit, erneut nach der Methode der „Sondierung ohne Ende" zu bestrahlen, begeben; ohnedies ist die volle Erwerbstätigkeit der Kranken nach Schluß ihrer Magenfistel auch im besten Falle leider zeitlich begrenzt. Der Kranke aber, der an seine Wiedergenesung glaubt, hält allerdings häufig die Weigerung, ihn von seinem störenden Magenschlauch zu befreien, für eine ihm unverständliche Härte.

3. Kombination der lokalen Radiumwirkung mit andersartiger Anwendung radioaktiver Substanzen oder mit Röntgenstrahlen.

Neben der lokalen Anwendung hat man durch Darreichung radioaktiver Substanzen per os, durch Einspritzungen in die Umgebung des Tumors und schließlich durch intravenöse Injektion eine Radiumwirkung zu erzielen versucht.

Nahmmacher ließ seine Kranken mit Ösophaguskrebsen bereits 1903 radioaktives Wismut schlucken, allerdings diente ihm diese Behandlungsweise nur als Unterstützung der Radiumsondenbestrahlung.

Er war der Meinung, daß dieses Präparat auf der Oberfläche des Tumors haften bliebe, und „allmählich seine Wirkung entfalte, so daß ein Zerfall der Neubildung eintritt". Zunächst wurde 3 mal mit 10 mg Radiumbromid vermittels Magenschlauches bestrahlt, dazu bekamen die Kranken mehrere Wochen lang 3 mal täglich $^3/_4$ Kaffeelöffel radioaktives Wismut. 3 Fälle wurden „mit gutem Erfolg" in dieser Weise behandelt. Nach etwa 14 Tagen bis 3 Wochen wurde eine Abnahme der unerträglichen Schmerzen und eine ganz wesentlich bessere Aufnahmefähigkeit von Speisen konstatiert. Ein Patient konnte sogar nach 4 Monaten wieder Brot essen.

Denselben Weg beschritt Werner, der seinen Kranken Pillen aus Kieselsäure, die mit Thor-X-Lösung getränkt waren, verabfolgte. Auch im Ausland sind vereinzelte derartige Versuche gemacht worden.

Lokale Strahlenwirkung können diese schwach radioaktiven Substanzen, schon aus dem Grunde nicht entfalten, weil nur ein Bruchteil des verschluckten Mittels in der Karzinomenge, auf der Oberfläche des Tumors hängen bleibt. Ob durch Resorption im Magendarmkanal eine Wirkung auf den Tumor eintritt, ist zum mindesten nicht erwiesen. Der Wert dieser Behandlungsweise scheint illusorisch. Dasselbe gilt von den Trinkkuren mit radioaktiven Wässern; Czerny und Caan haben recht, wenn sie meinen, daß mit diesen schwach radioaktiven Wässern eine Beeinflussung von Tumoren nicht erwartet werden kann.

Eine lokale Injektionsbehandlung kommt bei dem Ösophaguskarzinom aus anatomischen Gründen nicht in Frage, möglich bleibt nur die intravenöse Injektion. Bei Anwendung dieser Methode, die als eine „Allgemeinbehandlung" mit Radium bezeichnet werden kann, hoffte man, daß es zu einer Speicherung der radioaktiven Substanz in den Krebszellen und auf diese Weise auch zu einer lokalen Heilwirkung kommen könnte. Werner (1914) z. B. war der Meinung, daß sich die radioaktiven Substanzen nach der intravenösen Injektion in der Geschwulst mehr aufstapeln als in den meisten Körperorganen, und daher eine Heilwirkung möglich sei. Loeper hat die Injektionsbehandlung mit radioaktivem Mesothorium und Thorium-X ebenfalls versucht. Er hat intravenös „jusqu'à quatre et cinq microgrammes" Thorium-X bei 2 Fällen injiziert, und zwar 2mal wöchentlich. Die Behandlung war „nicht ohne Erfolg". Loeper meint aber selbst, daß es größerer Versuchsreihen bedürfe, um sich eine feste Ansicht über den Nutzen dieser Behandlungsweise zu bilden. Vor schwachen Dosen sei zu warnen, „il est certain, qu'une dose faible est capable de l'exciter, j'en ai eu la preuve souvent".

Mehr und mehr hat man indessen eingesehen, daß die Erwartungen, die man an die Injektionstherapie geknüpft hatte, nicht erfüllt wurden. Die vorsichtige Beurteilung, die diese Therapie auf dem 10. Röntgenkongreß fand, hat sich als richtig herausgestellt. Auf diesem Kongreß nämlich ging die Meinung der Mehrzahl dahin, daß die Ergebnisse der intravenösen Injektion von Radium- oder Thorium-X-Lösungen schlecht seien. Falta warnte vor diesen Injektionen, da „kleine Dosen unwirksam sind, große die Kachexie beschleunigen". Er war auch der Ansicht, daß im Karzinom ein elektives Speicherungsvermögen für radioaktive Substanzen nicht zukommt. Auch Werner kam 1923 zu einem ziemlich ablehnenden Urteil: „Die intravenöse Einspritzung (lösliche Radium-, Mesothoriumverbindungen) hat den Fehler zu starker Allgemeinwirkung." Am meisten Aussicht auf Erfolg böte die intraarterielle Einspritzung, die aber „in den meisten Fällen undurchführbar ist, wegen der Unmöglichkeit, alle zuführenden Gefäße des Tumors freizulegen". Für das Ösophaguskarzinom kommen derartige Injektionen natürlich nicht in Frage.

Übersehen wir die Ergebnisse dieser Versuche, so müssen wir gestehen, daß greifbare Resultate nicht vorliegen. Man wird gut tun, dieser Art der Radiumtherapie beim Ösophaguskrebs mit Kritik und Skepsis gegenüberzutreten.

Zum Schluß müssen Werners Versuche mit Cholin erwähnt werden, weil es sich hierbei um eine den Strahlen ähnliche Wirkung handeln soll. Bei Zersetzung des Gewebes durch Röntgenstrahlen oder radioaktive Substanzen „werden teils direkt, teils indirekt durch fermentative Einflüsse die Lipoide zerstört, wobei bekanntlich ein basischer Körper, das Cholin, frei wird".

Werner konnte 1904 zeigen, „daß durch die Einspritzung dieser Substanz in den menschlichen und tierischen Körper so ziemlich an allen Organen, an denen die Strahlen charakteristische, sozusagen spezifische, Veränderungen hervorrufen, genau dieselben Effekte erzielt werden können, wie durch die Röntgenbestrahlung". Wenn man geeignete Cholinverbindungen intramuskulär oder intravenös einspritzt, so erhält man nach Werners Untersuchungen im Prinzip dieselbe Wirkung, wie mit Hilfe der direkten Bestrahlung. Werner zieht die Cholintherapie der Behandlung durch Injektionen radioaktiver Lösungen vor. „Diese Unterstützung durch eine chemische Substanz wäre nicht so wertvoll, wenn nicht die radioaktiven Lösungen, die wir in den Körper einspritzen, starke Nebenwirkungen hätten, welche die Dosierung beträchtlich einschränken."

Unbestreitbare Erfolge beim Ösophaguskarzinom sind bisher nur durch lokale Einwirkung der Radiumstrahlen erzielt worden, diese Ergebnisse sind unvergleichlich besser als diejenigen der Röntgenbestrahlung. Die Frage, ob durch die Röntgenstrahlen eine Verbesserung der Erfolge der Radiumwirkung erzielt werden kann, ist noch offen. Viele Autoren sprechen sich für eine solche Kombination aus.

Wetterer empfahl 1919 die Radiumwirkung (Sondenbehandlung) durch hochgefilterte Röntgenstrahlen zu verstärken. Auch Perthes sprach sich für diese Kombinationsbehandlung aus: „Der Speiseröhrenkrebs wird am besten kombiniert mit Röntgen und Radium angegriffen."

An der Tübinger Klinik wurden mit dieser Methode wiederholt weitgehende und langanhaltende Besserungen erzielt. Schluckbeschwerden schwanden und in einem Fall konnte ösophagoskopisch ein halbes Jahr nach der Röntgen-Radiumbestrahlung nichts mehr von der Karzinomwucherung gefunden werden.

Im Heidelberger Samariterhause (Werner 1914) wurden 67 Ösophaguskarzinome teils nur mit konzentrischer Röntgenbehandlung von vorne und hinten, teils unter Kombination mit innerlicher Darreichung radioaktiver Substanzen (Radiumsalze, resp. von Kieselsäure adsorbierte Thorium-X-Lösung) behandelt und dabei ebenfalls bei der Mehrzahl der Fälle vorübergehende Erleichterungen der Beschwerden, insbesondere des Schluckens beobachtet.

Von 19 Ösophaguskarzinomen, die außer mit Röntgenstrahlen auch noch mit Enzytolininjektionen behandelt wurden, beobachtete Werner 10 mal eine monatelang anhaltende, sehr erhebliche Besserung und 1 mal einen seit Jahresfrist scheinbar vollkommenen Erfolg.

1923 sprach sich Werner ebenfalls für eine Kombination von Radium und Röntgenbehandlung des Speiseröhrenkrebses aus, besonders im Hinblick auf die Schädigungen, die bei intensiver Radiumbestrahlung auftreten können.

Bei der Dosierung des Radiums beim Ösophaguskarzinom sei zu beachten, „das nur eine geringe Distanzierung möglich ist und größere Dosen daher zu lästigen, nicht ungefährlichen Verbrennungen führen können". Infolgedessen ist man dazu übergegangen, die reine Radiumbestrahlung von innen, durch Röntgenbestrahlung von außen, d. h. vom Thorax und vom Rücken her zu ergänzen, um eine etwas günstigere Strahlenverteilung zu erzielen.

Auch Hotz kombinierte die Radiumwirkung mit Röntgenbestrahlung. 20 × 20 cm großes Einfallsfeld von der linken Rückenseite her, entsprechend der Höhe des Tumors gegen die rechte Mamillarlinie gerichtet, Coolidge- bzw. S.H.S.-Röhre, 1 mm Zinkfilter, Distanz 25 cm, 2 Sabouraud.

Wittmaack hielt ebenfalls die Kombination Radium-Röntgen für zweckmäßig: „in Zukunft dürfte es sich vielleicht empfehlen, gleichzeitig Röntgenbestrahlungen vor-

zunehmen. Die größeren Fortschritte der Tiefenröntgenbestrahlungstechnik berechtigen zu der Hoffnung, daß selbst das versteckte Karzinom der Speiseröhre den Strahlen zugänglich gemacht werden kann."

Ob diese Hoffnung sich erfüllen wird, steht dahin; heute ist es noch fraglich, ob durch die Röntgenstrahlen, deren Nutzen, wie wir gesehen haben, beim Speiseröhrenkrebs problematisch ist, deren Schädigungen aber bei intensiven Bestrahlungen nicht zu leugnen sind, eine Verbesserung der Radiumwirkung erzielt wird. Immerhin ist in dieser Frage das letzte Wort noch nicht gesprochen.

Zieht man das Fazit aus den Ergebnissen der Strahlentherapie des Ösophaguskarzinoms, so muß festgestellt werden, daß die Röntgentherapie versagt hat, und die schmerzlindernde Wirkung der Bestrahlungen als einziger, einigermaßen sicherer Nutzen übriggeblieben ist. Hingegen hat die Radiumtherapie symptomatische Erfolge in großer Zahl aufzuweisen, an ihrem Nutzen kann nicht mehr gezweifelt werden. Der Besserung sind aber zeitliche Grenzen gezogen, und bleibt das Ösophaguskarzinom, trotz der Entwicklung der Bestrahlungstechnik, ein unheilbares Leiden.

Als Fortschritt darf gebucht werden, daß durch die moderne Radiumbestrahlung der traurige Nihilismus früherer Zeiten seine Berechtigung verloren hat. Wir sollten die Ergebnisse nicht unterschätzen. Lewin schrieb 1914: „Wer lange Zeit den Jammer der gänzlich erfolglosen Therapie durchgemacht hat, wird über jeden einzelnen Erfolg, selbst wenn es sich nur um vorübergehende Wochen oder Monate andauernde Besserung handelt, doch außerordentlich befriedigt sein." In den letzten Jahren haben sich die Erfolge, dank der Entwicklung der Technik, derart verbessert und vermehrt, daß sie Zeit und Geduld, die der Arzt an die häufig mühevolle Technik wenden muß, durchaus belohnen.

Literaturverzeichnis.

Abbé, R., Die Anwendung von Radium bei Karzinom und Sarkom, Strahlenther. 4 S. 27.

— The Treatment of malignant desease by Radium and the X-ray, Arch. of the Roentgen-ray Nr 75 bis 78.

Ach, A., Beiträge zur Ösophaguschirurgie, Habil.-Schrift, Lehmanns Verlag, München 1913.

Arzt und Schramek, Zur intratumoralen Radiumbestrahlung maligner Geschwülste, Fortschr. d. Röntgenstr. 22, H. 2 S. 159.

Aschoff, L., Pathologische Anatomie, Verl. S. Fischer, Jena 1919.

Bachem, Die therapeutische Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen. Pharynx- u. Ösophaguskarzinome, Fortschr. d. Röntgenstr. 14, H. 2 S. 59.

Barcat, Radiumtherapie maligner Tumoren, Strahlenther. 5 S. 51.

— Récis de Radiumthérapie, Paris 1912, Malvine, Ref. Strahlenther. 1 S. 567.

Bayet, Die Behandlung des Krebses mittels Radium, Strahlenther. 3 S. 473.

Beck, A., $2^1/_2$ Jahre zurückliegende Heilung eines Ösophaguskarzinoms nach Radiumbestrahlung. D. m. W. 1922, Nr. 22 S. 720.

— Klinische Erfolge und Mißerfolge der Radiumbehandlung, Med. Ges. Kiel, 14. Juli 1921, ref. M. m. W. 1921 S. 1034.

Borchers, Zur Dilatationsbehandlung narbiger Ösophagusstenosen, Zsch. f. Chir. 1920 Nr. 3 S. 54.

Czerny und Caan, Radiumwirkung auf Karzinome und Sarkome, in Lazarus Handb. d. Radiumbiologie u. Ther., Verl. J. F. Bergmann, Wiesbaden.

Delbet, Mocquot, Herrenschmidt und Mock, Statistik über die mit Radium behandelten Krebsfälle, Bull. de l'Ass. fran. pour l'étude du cancer, ref. Strahlenther. 1 S. 314.

Einhorn, Über Radiumbehandlung des Ösophaguskrebses, B. kl. W. 1905, Nr. 44 S. 28.

— Radiumbehälter für den Magen, Ösophagus und Rektum, B. kl. W. 1904, Nr. 18 S. 477.

— Über die Radiumbehandlung des Ösophaguskrebses, B. kl. W. 1905 Nr. 44a.

Einhorn, Beobachtungen über Radium, Zschr. f. Krebsforsch. 3 H. 1.
Eisenstein, Radiologie der Speiseröhre, Fortschr. d. Röntgenstr. 21, H. 4 S. 381.
Exner, Über die Behandlung von Ösophaguskarzinomen mit Radiumstrahlen, W. kl. W. 1904, Nr. 4 S. 96.
— Bericht über die bisher gemachten Erfahrungen bei der Behandlung von Karzinomen und Sarkomen mit Radiumstrahlen, Sitzungsber. d. Kaiserl. Ak. Wiss. Wien 112, Abt. 3 Oktober 1903.
Falta, 10. Röntgenkongreß.
Finzi, N. S., Ein Fall von Ösophaguskarzinom behandelt mit Radium, Journ. of Radiol. Januar 1914, Strahlenther. 1 S. 394.
Grode, Fortschritte auf dem Gebiete der Ätiologie, Diagnostik u. Therapie der bösartigen Geschwülste während des Krieges, Strahlenther. 10 S. 437.
Guisez, Über die radiumtherapeutische Behandlung des Ösophaguskarzinoms, Strahlenther. 4 S. 44.
— und Barcat, Lokale Radiumanwendung in der Behandlung des Ösophaguskarzinoms, Bull. et mém. d. l. soc. méd. d. hôpit. de Paris Nr. 13, ref. Zschr. f. ärztl. Fortbild. 6, 1909, H. 16 S. 515.
— et Labouré, Congrès français d'Oto-Rhino-Laryngologie, Presse méd. 1913, 58, 5 S. 439.
Habs, Sitz. d. med. Ges. Magdeburg 6. November 1913, M. m. W. 1914 S. 337.
Hahn, Ein kasuistischer Beitrag zur Behandlung bösartiger Neubildungen mit Röntgenstrahlen, Fortschr. d. Röntgenstr. 7 S. 102.
Harmer, Pinsch, Diskussion über Radiumtherapie, Medic. Soc. of London, Lancet 14. März 1914 S. 749 u. 751.
Holfelder, Erfahrungen mit der Röntgentherapie der malignen Tumoren, Strahlenther. 15 S. 715.
— Die Röntgentiefentherapie der malignen Tumoren und der äußeren Tuberkulose, Strahlenther 13, H. 2 S. 438.
Hotz, G., Radiumbehandlung des Ösophaguskarzinoms, Schweiz. m. W. 1921 Nr. 20 S. 460.
Janeway, H.: The Action of Radium on Cancer, zit. nach Schmidt, Strahlenther. 13 S. 715.
Jüngling, Röntgentherapie, Jber. Chir. n. Gr. G. 1924 S. 335.
Kausch, Die Bougierung ohne Ende, M. Ges. Berlin, D. m. W. 1921 Nr. 26.
Kienböck, Radiotherapie der bösartigen Geschwülste, Strahlenther. 5 S. 502.
Knox, R., Die Radiumtherapie bei malignen Tumoren, Arch. f. physik. M. 1914, 8, H. 4 S. 233.
König, F., Probleme der Krebsbehandlung im Zeichen der Radiotherapie, M. m. W. 1914 Nr. 23 S. 1224.
Krecke, Über Strahlentherapie in der Chirurgie, Strahlenther. 8 S. 1.
Kurtzahn, H., Anwendungsbereich und Anwendungsweise des Radiums bei inoperablen malignen Tumoren, Strahlenther. 13 S. 72.
— Radiumbestrahlung beim Ösophaguskarzinom, Arch. f. klin. Chir. 121 S. 725.
— Zur Wegbarmachung der Speiseröhrenverengungen, Zbl. f. Chir. 1923 Nr. 10.
— Die Strahlenbehandlung maligner Neubildungen in der Chirurgie, D. m. W. 1924 Nr. 13.
Latzko-Schüller, Zur Radiumbehandlung des Krebses, W. kl. W. 1913, Nr. 39 S. 1541.
Ledoux et Sluys, Technik der Lokalisation des Ösophaguskarzinom, Curietherapie, Arch. méd. Nr. 449 November 1923 S. 323, ref. Fortschr. d. Röntgenstr. 32, H. 1/2 S. 158.
Lewin, C., Die Radiumbehandlung innerer Geschwülste, 31. Kongreß f. inn. Med., Wiesbaden 1914 S. 199.
Lewy, W., Weitere Beiträge zur Resektion der Speiseröhre, Arch. f. klin. Chir. 1922, 119, H. 1 S. 20.
Loeper, Les crises douloureuses du cancer de l'oesophage, Progr. méd. 1921, Nr. 52 S. 599.
Löwenthal, Grundriß der Radiumtherapie, Verl. J. F. Bergmann 1912.
London, E. S,, Das Radium in der Biologie und Medizin, Akad. Verlagsges., Leipzig 1911.
Mills and Kimbrough, Radiumtreatment of cancer of the esophagus under Roentgenray-control, Journ. of the Amer. Med. Assoc., Chicago 1920, 74 S. 1570.
Nahmmacher, Radiumtherapie bei bösartigen Erkrankungen, M. Kl. 1910 Nr. 29.
— Radium und Radiumtherapie, Klin. ther. W. 1908, Nr. 34/36 S. 938.
Newcomet, Bericht über 100 Fälle von mit Radium behandelten malignen Erkrankungen, Fortschr. d. Röntgenstr. 22, H. 3 S. 291.
Perthes, Über die Strahlenbehandlung bösartiger Geschwülste, Arch. f. klin. Chir. 116, 2 S. 353.
Pinsch, Arbeitsbericht aus dem Radiuminstitut in London vom 1. Januar bis 31. Dezember 1913, Strahlenther. 5 S. 12.
Ranzi, Schüller, Sparmann, Radiumbehandlung der malignen Tumoren, Strahlenther. 4 S. 97.
— Erfahrungen über Radiumbehandlung der malignen Tumoren, W. kl. W. 1913, Nr. 41 S. 1651.
Ribbert, Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie, Verl. F. C. W. Vogel 1911.
Rockey, A. E., Radiumtreatment of cancer of the esophagus, Rad. 1918, 11 S. 2.
Rupp, Krebsbehandlung mit Radium, D. m. W. 1914, Nr. 51 S. 2098.

Schindler, O., Erfahrungen über Radium- und Mesothoriumtherapie maligner Tumoren, W. kl. W. 1913, Nr. 36 S. 1413 u. Nr. 37 S. 1463.
Schlesinger, Über den gegenwärtigen Stand der Radiumtherapie bösartiger Geschwülste, D. m. W. 1913 Nr. 47 S. 2289.
Schmidt, Zur Strahlenbehandlung des Krebses, Arch. f. phys. M. 1914, 8. H. 4 S. 223.
— Über die früher und heute erzielten Erfolge der Strahlenbehandlung bei tiefgelegenen Karzinomen, Fortschr. d. Röntgenstr. 21. H. 1 S. 33.
— Die neueren Ergebnisse auf dem Gebiete der Radiumtherapie in Amerika. Strahlenther. 13 S. 689.
Sommer, Beitrag zur Kenntnis der Radioaktivität und ihrer therapeutischen Wirkung, Ann. Schweiz. baln. Ges. 1907.
Sparmann, Bericht über den weiteren Krankheitsverlauf der mit Radium behandelten Fälle maligner Tumoren, W. kl. W. 1913, Nr. 50 S. 2072.
Stegemann, H., Das Ösophagoskop im Dienste der Chirurgie, M. Kl. 1924 Nr. 9.
Steiner, Inwiefern kann heutzutage die Radiumtherapie konkurrieren mit der Chirurgie bei der Behandlung bösartiger Geschwülste? (Karzinome, Sarkome, Lymphome), Zschr. f. med. Elektr. u. Röntgenk. 1907, 9, H. 4/5 S. 178.
Stewart, Die Behandlung des Ösophaguskarzinoms, Arch. of the Roentgen-ray, April 1913.
Sticker, Die Strahlenbehandlung des Krebses, Strahlenther. 3 S. 451.
Stone (Neuyork), Über die gegenwärtigen Anwendungsmöglichkeiten der Röntgenstrahlen und des Radiums in der Behandlung bösartiger Neubildungen, The Amer. Journ. of Roentg. 1922, Nr. 8 S. 502.
Stubenrauch, 10. Röntgenkongreß.
Suter, Radiumbehandlung des Ösophaguskarzinoms, D. Zschr. f. Chir. 162, H. 1/2 S. 50.
Torek, Erfolgreiche Resektion des Brustteiles der Speiseröhre wegen Karzinom, D. Zschr. f. Chir. 1913, 123.
Unger, Zur Chirurgie des intrathorakalen Ösophaguskarzinoms, Arch. f. klin. Chir. 108 S. 31.
Wendel, Über Röntgenbehandlung des Ösophaguskrebses, M. m. W. Nr. 51 S. 2490.
— Med. Ges., Magdeburg 6. November 1913, M. m. W. 1914 S. 336.
Werner, Strahlenbehandlung der bösartigen Neubildungen innerer Organe, Strahlenther. 5 S. 610.
— Die Strahlenbehandlung der Neubildungen innerer Organe, Verh. 31. D. Kongr. f. inn. Med., S. 180,
— Über die Behandlung chirurgischer Karzinome und Sarkome mit radioaktiven Substanzen. Strahlenther. 15 S. 732.
— Bericht über die therapeutische Tätigkeit des Samariterhauses vom 1. Oktober 1906 bis 1. Januar 1914, Strahlenther. 5 S. 1.
— Die Radiotherapie der Geschwülste, Strahlenther. 2 S. 614.
— Behandlung der malignen Tumoren, Strahlenther. 1 S. 100.
— und Caan, Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Geschwülste, M. m. W. 1910, Nr. 26 S. 1385.
— und Grode, Über den gegenwärtigen Stand der Strahlenbehandlung bösartiger Tumoren, Erg. d. Chir. u. Orthop. 1912, 14.
Wetterer, Die Strahlenbehandlung der bösartigen Geschwülste, Strahlenther. 10 S. 758.
— Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie 1919 (3) 1 S. 546, 749, 810, Verl. Nemnich, München.
Wickham und Degrais, Radium bei der Behandlung maligner Tumoren, Strahlenther. 3 S. 457.
— Kann das Radium in der Chirurgie bei der Behandlung maligner Tumoren von Nutzen sein, Fortschr. d. Röntgenstr. 21 H. 3 S. 333.
— Die Radiumbehandlung des Krebses, Journ. de Radiol. belge, Mai 1910.
Wittmaack, Über einen klinisch geheilten Fall von Ösophaguskarzinom, M. m. W. 1919, Nr. 14 S. 371.

Namenverzeichnis.

Abbe 87.
Abbé 545, 550, 683.
Abderhalden 532, 660.
Ach 670.
Achelis 134, 138, 144.
Adler 534, 543, 544, 556, 557, 567, 571, 579, 580, 582, 588, 643, 646, 656, 659, 660.
Albers 87, 375, 382, 390, 392, 439, 445, 521, 595, 629, 660.
Albert 671.
Alberti 509, 509, 529.
Albrecht 87.
Allen 399, 403, 404, 414, 421, 439.
Allison 113, 128.
Altmann 139.
Altschul 58, 59, 87.
Amelung 77.
Amreich 562, 572, 580, 584, 587, 588, 660.
Ancel 497, 521, 522.
da Andrade 155, 156.
Angerer 259, 285, 359.
Anschütz 21, 35, 87, 113, 128, 645, 646.
Anten 439.
Arendt 547, 660.
Arndt 469, 549.
Arnin 521.
Arnold 445, 509.
Arnsperger 87.
Arrhenius 363.
Arzt 708, 713.
Aschoff 596, 652, 653, 660, 668.
Aßmann 52, 70, 87, 134, 136, 138, 140, 141, 144.
Aubourg 92.
Aulhorn 664.
Avogadro 199.
Axhausen 103, 110, 111, 128.

Baastrup 112, 128.
Bachem 603, 615, 660, 673, 718.
Bacher 87.
Bachlechner 87.
Bachmann 87.
Back 304, 305.
Backer 363.
Baer 87.
Baensch 382.
Baetjer 87.
Bagg 593, 660.
Bagger 87.
Baisch 539, 540, 541, 544, 587, 655, 660.
Baldwin 389, 439.
Barcat 669, 679, 684, 718.
Barkla 163, 165, 168, 189, 190, 193, 194, 197, 198, 199, 211, 327, 359, 360, 363, 389, 390, 404, 406, 409, 410, 421, 435, 437, 439.
Barrat 445, 509, 521.
Baumman 617.
Bayet 707, 718.
Beatty 190, 360.
Beck 391, 439, 706, 718.
Becker 231, 232, 233, 236, 237, 244, 256, 267, 360, 362, 592, 660.
Béclère 521.
Behnken 238, 241, 242, 244, 248, 249, 250, 251, 259, 267, 275, 280, 281, 285, 304, 320, 333, 357, 358, 360, 613, 660.
Behring 660.
Belot 521.
Bellot 549, 664.
Beltz 144.
Belugin 543, 551, 590.
Bender 395, 425, 439.
Benoist 195, 196, 360.
Benoit 496, 521.
Bensaude 87.
Benthin 643, 646, 647, 659, 660.
Berblinger 507, 522.
Berg 40, 61, 187, 231, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 262, 267, 360, 363, 364, 419, 427, 433, 437, 439.
Berger 87, 539, 660.
v. Bergmann 87.
Bergonié 448, 481, 482, 486, 487, 494, 495, 511, 522, 549.
Bering 611.
Bernabeo 387, 388.
Berthold 261, 356, 360, 368, 369, 371, 372, 373, 382.
Bertram 623, 660.
Bessunger 394, 439.
Betz 9.
Biedl 522.
Bier 107, 115, 128, 506, 522, 551, 660.
Billroth 100, 101, 107, 110, 128.
Bird 26.
Birt 87.
Bottorf 139, 144.
Blake 215.
Blanc 446, 481, 507, 511, 522.
Blum 139, 144.
Blumenthal 645.
Bock 87, 617, 660.
Boese 87.
Bohr 164, 199, 200, 212, 213, 214, 219, 220, 360, 407.
Bonet 113, 128.
Borcel 638.
Boos 259, 260, 261, 360.
Borchard 26, 87.
Borchers 717. 718.
Borelius 87.
Bornait 596, 653, 660.
Bornhauser 290, 332, 333, 335, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 360, 362, 364.
Boruttau 622.
Bothe 201, 206, 207, 219, 245, 360, 408, 439.
Bouin 449, 481, 487, 497, 511, 512, 514, 522.
Bouwers 261, 277, 354, 355, 360.
Boyle 185.
Bracht 712.
Bragg, W. H., 151, 152, 154, 172.
Bragg, W. L., 151, 152, 154, 172.
Bragg, 404, 405, 411, 412, 423, 439.
Brandes 104, 112, 113, 128.
Brasche 139, 144.
Braun 67, 71, 87.
Braun, H. 27, 87.

Brenzinger 299, 304, 360.
van den Broek 211.
de Broglie 154, 172, 216, 217, 360, 407, 439.
Brooker 113.
Brown 522.
Brünings 690, 692.
Brugsch 92.
Brunet 535, 660.
Brunner 25, 26, 87.
Bucky 88.
Burkhardt 9, 88.
Büttner 595, 660.
Bumm 539, 540, 542, 544, 548, 564, 567, 568, 570, 573, 574, 577, 579, 580, 582, 585, 588, 597, 658, 660.
Busch 116, 128.
Buschke 522.
Busé 355.
Busi 88.
Busse 539.

Caan 674, 682, 683, 686, 688, 695, 700, 716, 718.
Cabrera 215.
Caesar 620, 660.
Cahen 577.
Cahn 673.
Caldwell 395, 441.
Cannon 4.
Carman 71, 72, 84, 85, 88.
Carr 111.
Carnoy 483, 495.
Carter 277, 360.
Case 38, 88.
Caspari 395, 441, 642, 660.
Cassirer 103, 106, 128.
Cersole 439.
Cermak 173, 393, 394, 423, 424, 439, 442.
Chacquot 693.
Chaoul 623, 624, 625, 660.
Chéron 546, 547, 550, 573, 590, 660.
Chilaiditis 88.
Christen 266, 267, 268, 331, 353, 391, 439, 597.
Clairmont 88, 449.
Clark 225, 274, 282, 360, 364, 593, 594, 660.
Clarke 360.
Cloves 596, 597, 661.
Clunet 653, 660.
Clung 185, 245, 251, 260.
Cluzet 431, 439.
Cohn 88, 392.
Cohn, M. 142, 144.
Cole 8, 9, 88.
Compton 201, 202, 203, 204, 207, 260, 360, 404, 409, 439.
Coolidge 341.
Cornet 144.
Corning 60, 69.
Coster 166, 216.
Crowther 186, 199, 360.
Curie 592.
Curschmann 88.
Czepa 58, 59, 88.
Czerny 25, 547, 660, 671, 682, 683, 686, 688, 695, 700, 716, 718.
Czyhlarz, v. 88.

Daels 597, 660.
Dallas 406.
Dalton 208.
Danlos 545.
Dann 88.
Dauvillier 263, 278, 279, 360.
Debye 199, 200, 201, 202, 203, 206, 207, 360, 439.
Dechend, v. 382.
Degrais 546, 664, 681, 683, 708, 709.
Dehn, v. 137, 144.
Delbet 718.
Delporte 577.
Demokrit 208.
Dessauer 204, 205, 231, 334, 342, 343, 361, 382, 423, 424, 439, 596, 597, 602, 611, 617, 619, 620, 624, 626, 627, 628, 636, 637, 638, 639, 644, 660, 673, 712.
Deutsch 595.
Deyke-Pascha 102, 128.
Dietlen 38, 88, 134, 144, 263, 264, 361.
Dietrich 532, 540, 656, 660.
Doberauer 88.
Dodwell 25.
Döderlein 532, 536, 539, 540, 541, 550, 554, 575, 582, 587, 621, 643, 652, 653, 656, 658, 660.
Döderlein Gust. 549, 660.
Dolejsek 165.
Dominici 546, 550, 573, 660.
Donati 431, 432, 441.
Doppler 88.
Dorn 91, 187, 361, 406, 439.
Drueck 88.
Duane 159, 194, 215, 216, 263, 275, 276, 281, 282, 354, 361, 399, 439.
Dubrenil 486.
Dubs 103, 128.
Dumas 92.
Duncan 538, 593, 594, 661.
Durous 673.
Duval 516, 547, 550, 590.

Eder 386, 428, 439.
Edgar 25.
Ehrhardt 674.
Ehringhaus 107, 128.
Ehrmann 522.
Einborn 8, 9, 88, 673, 678, 679, 680, 686, 693, 718.
Einstein 159, 166, 168, 210, 214, 275.
Eiselsberg, v. 25.
Eisenberg 30, 88.
Eisenstein 719.
Ellinger 187, 232, 242, 360, 361, 395, 396, 419, 427, 432, 433, 437, 439, 621, 661.
Eltze 595, 597, 661.
Enfield 84, 88.
Engelhorn 548, 661.
Esmarch 25.
Eutin 144.
Ewald 361.
Exner 100, 102, 103, 106, 107, 108, 110, 124, 128, 546, 549, 550, 654, 661, 677, 678, 708, 711, 719.
Eykmann 673.
Eymer 550, 573, 574, 578, 584, 585, 661, 712.

Faber 445, 522.
Failla 593, 661.
Falta 716, 719.
Farady 209, 295, 296.
Faulhaber 33, 88.
Felix 449.
Fenwick 25.
Fernau 571, 661, 713.
Finkelnburg 105, 128.
Finkenrath 262, 361.
Finzi 691, 719.
Fischer 1—93, 9, 14, 17, 26, 36, 37, 50, 52, 76, 87, 88, 601, 661.
Fittig 673.
Flateau 538, 578, 661.
Fleischhauer 103, 128.
Flemming 33, 88.
Fletscher, 544, 661.
Forestier 507, 523.
Forssell 88.
Forster 88.
Foveau de Courvelles 545, 595, 661.
Fraenkel, M. 439, 522, 554.
Fraenkel 387, 393.
Franck 388, 440.

Franke 30, 88, 89, 371, 382, 534.
Frankel 661.
Frankl 661.
Franqué, v. 89, 540, 568, 601, 652, 659, 661.
Franz 539, 544, 661.
Freer 593, 594, 661.
Freund-Kamminer 532, 600, 661.
Freund-Werthein 538, 647.
Fricke 207, 215, 243, 261, 316, 354, 361, 408, 437.
Frieben 522.
Friedenwald 87.
Friedl 97—130.
Friedrich 149, 151, 162, 231, 232, 252, 262, 263, 265, 266, 267, 284, 288, 290, 291, 292, 293, 294, 301, 302, 303, 304, 324, 333, 335, 336, 337, 338, 341, 342, 343, 344, 345, 349, 353, 354, 357, 358, 361, 395, 425, 439, 442, 548, 550, 553, 555, 559, 562, 563, 564, 565, 566, 568, 572, 583, 598, 603, 604, 612, 613, 615, 617, 626, 627, 629, 635, 636, 647, 649, 661, 681, 707.
Fritz 155, 156, 157, 162, 279, 361.
Fritzsche 89.
Fromme 68.
Fürst 625.
Fürstenau 262, 353, 354, 612.
Füth 89, 552, 585, 661.
Fuld 88.

Gall 657, 661.
Gangitano 89.
Gans 395, 432, 439.
Garré 90.
Gauß 391, 429, 440, 537, 548, 595, 597, 645, 646, 652, 653, 660, 661, 707.
Gauthier 387, 388, 440.
Gavanazzi 522.
Gayet 113, 128.
Gay-Lussac 185.
Gaylord 596, 597, 661.
Geinitz 105, 128.
Geipel 652, 661.
Geller 531, 661.
George 89.
Gerhartz 522.
Gerber 89.
Gerlach 361.
Ghilarducci 396, 397, 398, 431, 437, 440.
Giesecke 539, 645, 657, 661.
Giffin 89, 91.
Gilbert 525.
Glaser 559, 562, 563.
Glasser 207, 232, 243, 252, 261, 262, 316, 324, 354, 358, 361, 408, 437, 439, 661.
Gleichmann 623.
Glocker 168, 193, 194, 195, 196, 200, 241, 261, 278, 279, 290, 292, 329, 330, 342, 343, 344, 349, 354, 355, 356, 357, 359, 361, 365—382, 380, 404, 405, 406, 411, 412, 413, 415, 440, 629, 661.
Gocht 89.
Goette 469, 522.
Goetze 11, 55, 89.
Götzl 522.
Goldammer 56, 72, 73, 89.
Goldberg 677.
Goldscheider 113, 128.
Goldschmidt 27, 89.
Goldstücker 430, 440.
Goto 27, 89.
Gottlieb 335, 347, 348, 361.
Goubbe 673.
Graefe 439.
Graeff 133, 134, 144.
Graham 89.
Grant 399.
Graser 28, 89.
Grashey 91, 623, 661.
Grath 89.
Grebe 147—173, 231, 259, 260, 261, 262, 292, 300, 301, 361, 565, 612, 661.
Grey 113, 128.
Griffith 89.
Groedel 11, 37, 38, 58, 59, 89, 624, 661.
Groß 26, 497.
Großmann 336, 337, 338, 339, 340, 342, 344, 361, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 421, 440.
Grünfeld 382.
Gudzent 395, 430, 436, 440.
Guiset 679, 680, 681, 683, 684, 686, 707.
Guthmann 625.

Habeknecht 89.
Haberer, v. 89.
Habs 690, 712, 719.
Hada 522.
Haendly 607, 652, 654, 661.
Haenisch 4, 5, 7, 89.
Haga 149.
Hagemann 107, 128.
Haffner 385, 389, 438, 441.
Hagenbach 89.
Hagler 89.
Hahn 102, 129, 387, 440, 672, 673, 677, 719.
Hain 89.
Halban 647, 661.
Halberstaedter 243, 244, 262, 324, 325, 343, 344, 362, 382, 385, 389, 430, 431, 432, 435, 440, 442, 610, 655, 661.
Hallwachs 210.
Hammer 308, 361.
Hanhart 126, 129.
Hansemann 511.
Harmer 684, 729.
Harms 507, 522.
Harris 391, 440.
Haßlin, v. 89.
Hatten 642.
Haudeck 89, 90, 134, 136, 144.
Hauenstein 601, 661.
Hauschting 559, 561, 570, 574, 638, 661.
Haußmann 90.
Hausser 262, 361, 363, 364, 615, 661.
Hedinger 114, 129.
Hegler 144.
Heidenhain 547.
Heile 392.
Heiner 592, 593, 594.
Heimann 712.
Heinecke 142, 445, 492, 493, 522.
Heinicke 549, 661.
Heinrichs 595, 661.
Hellmann 646, 660.
Helmholtz 209.
Henczelmann 9.
Henius 87.
Henkel 535, 544, 661.
Herfarth 102, 103, 104, 105, 110, 112, 113, 129.
Hermann 495, 522.
Hernaman-Johnson 440.
Herrenschmidt 693, 718.
Hertwig 626.
Hertz 90.
Hertz, H. 209, 216.
Herxheimer 445, 466, 482, 522, 652, 662.
Hertz 204, 205, 361.
Heß 506, 523.
Hesse 90.
Hevesy 166.
Hewlett 194, 196, 203, 260, 363, 399, 440.
Heymann 542, 656, 661.
Hida 523.
Hildebrand 5, 90.
Hilgenreiner 103, 105, 113, 129.
Hinglais 90.
Hipp 315.

Hirsch-Hamburg 624.
Hirsch 605.
Hirschsprung 73.
Hitschmann 102, 105, 129.
Hock 523.
Hönlinger 137, 144.
Hofbauer 549, 554, 600, 661.
Hoffmann 90, 103, 129, 389, 438, 440, 445, 466, 482, 486, 522, 523.
Hofmeister 26, 90.
Holfelder 200, 290, 332, 333, 335, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 360, 362, 591, 617, 618, 620, 621, 626, 661, 675, 676, 719.
Holland 25, 90.
Holthusen 144, 231, 232, 233, 235, 236, 237, 244, 256, 257, 259, 260, 261, 262, 266, 267, 277, 324, 327, 354, 356, 360, 362, 383—442, 406, 419, 426, 432, 433, 435, 437, 440, 605, 609, 610, 612, 613, 653, 661.
Holzbach 392, 394, 440, 536, 661.
Holzknecht 90, 359, 382, 440, 549, 555, 602, 604, 605, 606, 607, 609, 610, 617, 626, 627, 629, 642, 661, 677, 678.
Hotz 672, 692, 693, 694, 707, 711, 712, 713, 714, 717, 719.
Hu 215.
Hugel 25.
Hull 201, 263.
Hunt 159, 275, 276, 281, 282.
Hüssy 658, 661.
Hüttner 661.

Immelmann 595.
Innes 419, 426, 440.

Jäckel 642, 646, 663.
Jäger 243, 244, 262, 309, 324, 325, 339, 340, 342, 343, 344, 349, 361, 364, 630, 661.
Jaffé 90.
Jakobi 394.
Janeway 592, 593, 683, 719.
Janisch 137, 144.
Janus 304, 305, 362.
Jaschke, v. 627, 638, 644, 661.
Jeß 440.
Jodlbauer 385, 387, 388, 389, 438, 440, 441.
Johan 143, 144.
Johnson 390, 423, 424, 427, 428, 429, 435.
Jolasse 90.
Jores 107.
Jorres 129.
Jüngling 349, 473, 606, 607, 609, 613, 625, 661, 675, 709, 718.

Kaestle 5, 90, 597, 662.
Kästner 611.
Kahn-Potthoff 532, 662.
Kaisser 606, 607, 662.
Kamminer 661.
Kaplan 90.
Kapsammer 111, 129.
Karewski 58, 59, 74, 90.
Karolus 281, 362.
Katsch 87.
Kaupp 329, 330, 362, 380, 382.
Kausch 21, 90, 719.
Kaye 163, 190, 362.
Kayser 547, 549, 555.
Keetmann 550, 662, 707, 712.
Kehrer 539, 540, 541, 548, 549, 550, 551, 555, 556, 559, 561, 567, 568, 573, 575, 582, 583, 588, 590, 605, 642, 655, 660, 662.
Kermauner 532, 534, 535, 663.
Kern, v. 143, 144.
Kettmann 273, 362.
Kienböck 16, 50, 90, 97, 99, 100, 113, 118, 120, 122, 124, 129, 263, 357, 719.
Kirschner 671, 695, 715.
Kitahara 507, 523.
Klein 441, 532, 559, 595, 662.
Klieneberger 134, 136, 144.
Kloiber 18, 19, 58, 59, 90.
Klotz 392, 441.
Knipping 149, 151.
Knox 685, 712, 719.
Koch 302.
Köhler 90, 652, 662.
Köhler, A. 15, 122, 129.
Kölliker 105, 129.
König 25, 26, 90, 107.
König, F. 719.
Königsberger 558, 559.
Körner 284, 288, 335, 336, 337, 338, 341, 342, 343, 344, 349, 362.
Körte 21, 27, 90.
Kofmann 431, 439.
Kohlrausch 195, 267.
Kok 549, 599, 662.
Kalischer 535, 662.
Kossel 193, 194, 255, 256, 258, 362, 405, 406, 412, 417, 441.
Kothe 386, 441.
Kottmann 532, 662.
Kraul 539, 542, 662.
Krauß 8, 9.
Krauß 92.
Krause 17, 90, 98, 382.
Krause, P. 523.
Kremer 50, 51.
Kreuter 90.
Kriegesmann 259, 260, 261, 361.
Krömer 535, 662.
Krönig 263, 265, 266, 267, 291, 292, 293, 294, 301, 333, 345, 353, 354, 357, 358, 362, 441, 532, 536, 537, 538, 539, 541, 542, 549, 555, 558, 559, 566, 575, 582, 583, 597, 598, 600, 603, 612, 614, 635, 652, 653, 658, 662, 681, 707.
Kroetz 389, 438.
Kronberg 90.
Krüger, R. 523.
Krüger 615, 663.
Krukenberg 597, 662.
Kümmell 26, 90.
Küpferle 133, 134, 144.
Küstner 160, 162, 173, 175—364, 197, 262, 270, 281, 321, 329, 330, 362, 363, 611, 612, 613, 642.
Küttner 25, 90, 102, 671.
Kuga 523.
Kulenkampff 159, 274, 277, 280, 362, 364.
Kupferberg 657, 659, 662.
Kurnitzki 139, 144.
Kurtzahn 571, 662, 665—720, 694, 695, 719.
Kyrle 445, 446, 449, 480, 481, 506, 511, 516, 523.

Labouré 681, 683.
Lacassague 468, 473, 474, 488, 523.
Laewen 27, 28, 90.
Lahm 527—664, 548, 549, 550, 551, 552, 556, 559, 572, 575, 583, 587, 600, 604, 653, 662, 713.
Lang 90.
Lange 90.
Langer 106, 114, 117, 127, 129, 623, 662.
Lapinsky 111, 120, 129.
Laquarière 523.
Latarjet 113, 129.
Latzko 708, 719.
Laue, v. 149, 150, 151, 152, 193, 199, 209.
Laurell 9, 17, 90.
Lazarus 538, 547, 662.
Leaming 91.
Lebram 139, 144.
Ledoux 669, 719.
Legueule 596, 653, 660.

Lehmann 58, 59, 91, 103, 105, 112, 113, 129.
Lejars 91.
Lemcke 391, 429, 440.
Lenard 164, 183, 210, 211, 224, 227, 228, 229, 230, 234, 246, 247, 249, 256, 257, 258, 363, 406, 409, 419.
Lenk 84, 103, 105, 113, 129, 394, 395, 441.
Lenz 87, 611, 663.
Leukippos 208.
Levy 91.
Levy, E. 523.
Levy, F. 496.
Lewaschew 111, 120, 129.
Lewin 672, 684, 707, 711, 713, 718, 719.
Lewy 719.
Leyden 595, 597, 662, 671, 674.
Lexer 90.
Liechti 427, 432, 433, 441.
Liek 91.
Lilienfeld 280, 281, 363.
Lindemann 441.
Lindsay 216.
Linthicum 90.
Lipschütz 494, 496, 497, 523.
Littauer 548, 562.
Lockhart-Mummery 84, 91.
Loeb, O. 393.
Loehe 395.
Loke 461.
Loeper 91, 672, 685, 686, 708, 716, 719.
Löhfeldt 91.
Loewenthal 392, 428, 436, 441, 719.
London 677, 719.
Looser 107, 108, 110, 118, 129.
Lorenz 91.
Lorey 130—144, 131, 134, 142, 144, 382.
Lossen 91.
Lourier 547, 555, 662.
Luedwall 644, 664.
Luger 91.
Lutz 271, 300, 363.

Madelung 91.
Mader 673.
Mahnert 532, 662.
Majerus 91.
Maliva 105, 107, 129.
Mandel 27, 91.
March 155, 156, 157, 162, 163, 173.
Markiewitz 91.
Markovits 473, 474, 491, 523.
Marschik 711.
Martenstein 387, 441.
Martin 395, 441.
Martini 662.
Martiny 653.
Martius 231, 262, 300, 301, 342, 361, 363, 559, 565, 566, 568, 569, 602, 603, 608, 612, 617, 623, 626, 627, 629, 638, 644, 645, 649, 650, 662, 713.
Marx 320, 363.
Mathes 91, 140, 144.
Matzdorf 440, 548, 559, 572, 662.
Maxwell 198, 201, 209.
Mayer, A. 599, 662.
Mayer, R. 210.
Mayo 91.
Mazumder 194, 354, 363, 399, 439.
Meidner 547, 597, 662.
Meinertz 90.
Meitner 207, 363.
Mendelejeff 208, 209, 211.
Menge 541, 548, 550, 573, 574, 582, 587, 662.
Mentzel 581, 662.
Merdler 601, 662.
Meyer 9, 111, 129, 211, 431, 432, 435, 544.
Meyer, H. 594, 611, 643, 644, 645, 646, 660, 662.
Meyer, L. 208.
Meyer, R. 596, 652, 653, 662.
Meyer, St. 209.
Michaud 393.
Mickulicz 532, 663, 670.
Miescher 614, 615, 616, 663.
Milani 431, 432, 441.
Miller 71, 72, 84, 88.
Millicurie 592.
Mills 91, 719.
Minot 491, 523.
Mock 693, 718.
Mockowski 30.
Mocquot 718.
Möller 33, 81.
Mohr 445, 448, 487, 508, 523.
Mohr-Staehelin 93.
Mokrowski 91.
Monakow, v. 507, 523.
Moose 426, 441.
Morgenstern 600, 663.
Morton 441, 595.
Moseley 163, 211, 222, 223, 272, 363.
Mühlmann 634, 658, 663.
Müller 91.
Müller 103, 111, 113, 341, 391, 445, 542, 595, 596, 600, 611.
Müller 430, 441.
Müller, C. H. F. 300, 301.
Müller, E. 129.
Müller, L. R. 129.
Müller, M. 601, 663.
Müller, W. 91, 129, 441, 523.
Muff 58, 59, 91.
Mummery-Lockhart 84, 91.
Mutscheller 367, 381, 382.

Nabias, de 506, 523.
Nahmacher 547, 663, 715, 719.
Nasse 112, 129.
Natter 663.
Neisser 385, 388.
Netousek 144.
Neuberg 392, 394, 395, 429, 441.
Neukirchen 197, 363.
Neumann 144.
Neusser 441.
Newcomet 707, 719.
Nichols 201, 362, 363.
Nickham 719.
Nicolescu 392.
Nogier 448, 494, 523.
Nonne 103, 106, 129.
Noorden, v. 92.
Norascinsky 92.
Nothnagel 18, 19, 91.
Nürnberger 601, 663.

Odescalchi 91.
Ohlmann, Loo 103, 105, 106, 110, 113, 129.
Opitz 539, 540, 547, 549, 550, 555, 582, 588, 598, 599, 600, 604, 608, 613, 615, 626, 627, 629, 635, 636, 642, 647, 648, 649, 654, 659, 663.
Otten 134, 144.
Owen 190.

Päßler 140.
Pagenstecher 391, 392, 441.
Paget 113.
Paluguay 394, 441, 669.
Pankow 638.
Pape 382.
Patterson 216.
Payr 3, 69, 70, 91.
Pers 91.
Perthes 617, 646, 663, 672, 695, 708, 717, 719.
Peters 523.
Petry 429, 441, 478, 523.
Pfahler 673.
Pförringer 91.
Phillip 523.
Philpot 190, 359, 363.
Picard 396, 436, 442.
Piccaluga 397, 441, 606, 663.

Pinch 533, 663.
Pinkuß 548, 663.
Pinsch 684, 690, 719.
Pioro 385.
Pivard 611, 663.
Planck 201, 202, 210, 275, 400.
Plesch 389, 441.
Pohl 149, 363.
Politzer 507, 508.
Polland 387, 441.
Pommer 110, 111, 114, 117, 118, 129, 130.
Ponfick 110, 111, 113, 116, 130.
Pordes 549, 663.
Porter 404, 405, 411, 412, 423, 439.
Postemsky 671.
Potthoff 662.
Presuhn 134, 144.
Prime 594, 664.
Prochownik 543, 663.
Prym 652, 653, 654, 655, 663.
Prost 615, 663.
Puga 624, 625, 663.

Quervain, de 30, 52, 84, 91.

Raab 385.
Rabl 130.
Racasens 571.
Radecki 532, 663.
Rahm 624, 625, 643, 663.
Ranzi 708, 719.
Rapp 396, 611, 661.
Recasens 663.
Recazens 541.
Regaud 446, 448, 457, 466, 470, 476, 480, 481, 486, 487, 488, 491, 492, 494, 505, 507, 508, 511, 523, 524.
Regnier 26, 58, 92.
Régoud 602, 605, 609, 663.
Reichl 92.
Reichen 663.
Reicher 611.
Rendich 6.
Revecz 33, 92.
Reznicek 103, 105, 130.
Ribadeau 92.
Ribbert 103, 114, 130, 512, 523, 668, 719.
Richtmyer 194, 196, 260, 354, 363, 399, 441.
Riedl 391.
Rieder 4, 5, 8, 25, 37, 92, 442.
Riese 26.
Ritter 615, 663.
Rochaix 431, 439.
Rockey 693, 720.
Roentgen 149, 181, 182, 323, 327, 331, 363, 595.
Rohrer 394, 395, 441.
Romeis 449, 507, 512, 513, 516, 523.
Rosenthal 442.
Roß 203, 363.
Rosseland 406.
Rossi 92.
Rostosky 652, 661.
Roth 166.
Rothacker 290, 342, 343, 344, 349, 359, 361, 363, 629.
Rotter 26.
Roulier 523.
Roux 98, 107, 114, 115, 116, 117, 130.
Rubino 601.
Rübsamen 575.
Rump 287, 339, 340, 342, 344, 349, 358, 362, 363, 364.
Rumpel 9.
Runge 545, 663.
Rupp 685, 708, 711, 713, 720.
Rutherford 155, 156, 164, 199, 210, 211, 226, 317, 319, 320, 363.
Ruyter, de 92.
Rydberg 220.

Sabouraud 359.
Sachs 531, 532, 663.
Sadler 189, 190, 193, 194, 197, 198, 360, 363, 404, 405, 406, 419, 423, 426, 441.
Sale 197, 327, 360, 363.
Salzmann 392, 393, 423, 424, 435, 441.
Samssonow 442.
Samuel 594.
Sauerbruch 555, 663.
Saupe 341, 363.
Sauthier 675.
Schaarschmidt 623, 640.
Schäfer 540.
Schäffer 554, 608, 663.
Schaffer 114, 130.
Schall 380.
Schauta 567, 590, 663.
Scheel 166.
Scheele 9, 10, 92.
Schenk 89, 92.
Schieferdekker 76.
Schiemann 663.
Schiff 111, 130.
Schiller 92.
Schilling 90.
Schindler 681, 711, 719.
Schinz 97—130, 130, 443—526, 446, 447, 448, 449, 450, 454, 456, 457, 469, 472, 478, 480, 481, 486, 487, 488, 489, 492, 494, 497, 506, 511, 512, 513, 514, 515, 525, 602, 605, 607, 609, 663.
Schittenhelm 9, 62, 63, 65, 86, 92.
Schlayer 144.
Schlechter 252, 253, 356, 363.
Schlesinger 5, 36, 92, 685, 720.
Schleußner 348, 428, 442.
Schmid 683.
Schmidt 92, 138, 144, 522, 593, 655, 659, 663, 720.
Schmidt, H. E. 382, 525.
Schmidt, I. E. 92.
Schmieden 3, 92, 544, 663.
Schmorl 547.
Schneider-Scheele 19.
Schneider 663.
Schnitzler 27.
Schönberg 87, 375, 382, 390, 392, 439, 445, 521, 595, 629.
Schönleber 290, 342, 343, 344, 349, 359, 361, 363, 629.
Scholtz 445, 525.
Schottländer 532, 533, 534, 535, 663.
Schrader 382.
Schrameck 708, 713.
Schreuß 395.
Schroeder 92.
Schücking 546, 550, 663.
Schüle 5, 6.
Schüller 580, 663, 681, 708, 719.
Schütz 30, 92.
Schule 92.
Schulte 661.
Schultz-Arndt 549.
Schultze 113, 130.
Schut 144.
Schwalbe 91.
Schwarz 5, 6, 7, 9, 17, 31, 37, 62, 63, 64, 65, 85, 86, 89, 92, 428, 429, 442, 509, 525, 534, 611, 663.
Schweizer 663.
Schwertfeger 238, 239, 240, 241, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 262, 267, 360, 363, 364.
Seemann 154, 155, 162, 272, 282, 363.
Seitz 219, 262, 332, 349, 363, 364, 397, 543, 555, 559, 564, 567, 568, 569, 582, 583, 588, 598, 601, 603, 604, 605, 606, 607, 613, 614, 615, 617, 623, 626, 627, 629, 632, 633, 634, 636, 638, 639, 642, 644, 645, 650, 652, 654, 657, 663.

Seldin 445, 525.
Seligmann 547.
Selka 88.
Sellheim 392, 442.
Senat 505, 525.
Séuffert 386, 442, 539, 548, 550, 558, 564, 565, 567, 575, 581, 656, 664.
Shaw 544.
Shimizu 215.
Shiota 92.
Show 661.
Sidamgrotzky 396, 442, 611, 663.
Siegbahn 154, 165, 172, 173, 193, 194, 215, 216, 221, 222, 225, 363, 402, 421.
Siegel 542, 627, 638, 644, 657, 663.
Sielmann 424, 433, 601, 663.
Siemens 290, 305, 306, 307, 308, 309, 324, 339, 348.
Sigwart 539, 651, 660.
Sillem 439.
Simmonds 92, 445, 448, 491, 493, 511, 525.
Simon 623, 663.
Simons 389, 610, 661.
Singer 92.
Sippel 642, 646, 663.
Siredey 521.
Sjöval 87.
Slotopolsky 112, 130, 443—526, 446, 449, 450, 454, 456, 457, 469, 480, 481, 487, 488, 489, 491, 492, 496, 505, 510, 511, 512, 513, 514, 525.
Sluys 396, 442, 669.
Solomon 262, 263, 363, 525.
Sommer 679, 720.
Sommerfeld 164, 226, 363.
Soper 91, 92.
Souligoux 92.
Spangaro 469, 506, 525.
Sparmann 681, 682, 708, 719.
Specht 525.
Spencer 595, 664.
Spieß 395, 442.
Spinelli 657, 664.
Spude 391.
Stamer 685.
Stark 580, 658, 664.
Statz 197, 198, 327, 363.
Staunig 155, 156, 157, 162.
Stegemann 670, 720.
Steiger 646, 659, 664.
Steinach 488, 493, 514, 525.
Steindl 447, 488, 493, 525.
Steiner 674, 720.
Steinthal 646.
Stenger 704.
Stenström 215.
Stepp 393, 394, 442.
Stern 92.
Sterzel 302.
Steuart 391, 442.
Stevenson 592, 593.
Stewart 93, 674, 720.
Sticker 548, 549, 664, 681, 690, 713, 720.
Stierlin 7, 8, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 44, 45, 46, 50, 52, 58, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 89, 93.
Stieve 445, 448, 449, 494, 495, 496, 497, 505, 512, 513, 514, 515, 517, 518, 525.
Stoeber 26, 93.
Stöckel 540.
Stokes 168, 171, 226.
Stone 720.
Strasburger 93.
Strauß 93, 607, 644, 645, 646, 664.
Strebel 677, 713.
Ström 56, 57, 93.
Stubenrauch 711, 720.
Sudeck 27, 93, 97, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 106, 108, 113, 114, 116, 120, 127, 130.
Suter 694, 708, 720.
Symons 671.
Szillard 263, 266, 363.

Tandler 497, 525.
Tappeiner 385, 387, 389, 429, 438, 442, 525.
Taylor 85, 93, 594.
Thaler 445, 480, 526, 538, 664.
Thaller 238, 239, 240, 241, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 262, 267, 360, 363, 364.
Theilhaber 599, 642, 664.
Thibaut 87.
Thies 445, 526, 555, 600, 664.
Thomson, J. J. 188, 189, 198, 199, 211, 364, 390.
Tietze 26, 27, 30, 93.
Tomenek 592, 594, 664.
Torek 671, 720.
Tribondeau 448, 481, 482, 486, 487, 494, 495, 511, 522, 526.
Tromp 93.
Tugendreich 382.

Ulrey 274, 275, 276, 277, 364.
Ulrichs 442.
Unger 720.
Unzeitig 526.

Vahle 262, 361, 362, 364, 615, 661.
Varela 601.
Vautrin 26.
Velden, v. d. 393, 394, 442.
Vey 579, 664.
Vierheller 334, 342, 361, 364, 617, 619, 660.
Villemin 448, 510, 522, 526.
Virchow 27.
Voeckler 24, 93.
Völker 671.
Vogel 385.
Vogt 673.
Volkmann 97, 98, 100, 102, 114.
Voltz 395, 442, 549, 554, 616, 617, 664.
Voorhoeve 93.
Vulpian 113.

Wachtel 102, 105.
Waeber 570, 590, 615, 628, 664.
Wagner 154, 159, 162, 171, 172, 173, 274, 276, 280, 362, 364.
Waldeyer 110, 130.
Walter 149, 371, 382.
Walthard 543.
Warbuton 399, 441.
Warnekros 537, 599, 602, 603, 615, 626, 627, 628, 636, 637, 638, 639, 643, 644, 645, 646, 658, 659, 664.
Wassermann 430, 442, 597, 664.
Weber 437.
Webster 225, 274, 276, 282, 360, 364.
Wegelin 526.
Weil 144.
Weinbrenner 539, 656, 664.
Weinschenk 137, 144.
Weißhaupt 653.
Welter 93.
Wendel 673, 674, 683, 690, 712, 720.
Werner, R. 526.
Werner 386, 387, 389, 393, 445, 548, 554, 570, 608, 664, 669, 670, 673, 674, 685, 707, 709, 711, 712, 716, 717, 720.
Wertheim 539, 540, 548, 664.
Wertheimer 543, 664.
Wetterer 442, 593, 664, 673, 685, 707, 708, 717, 720.
Whiddington 217, 218, 364, 404, 407, 442.
Wichmann 442, 673.
Wickham 546, 549, 664, 681, 683, 708, 709, 720.
Wiechert 226.
Wiederoe 93.
Wien 212, 226.
Wieser 626.
Wiesner 93.

Wiggers 594.
Wilson 91, 93, 182, 183, 201, 205, 206, 207, 218, 219, 223, 226, 227, 228, 229, 363, 408, 442.
Wind 149.
Windgarth 442.
Wingardh 399.
Winter 535, 537, 538, 540, 644, 646, 658, 664.
Winternitz 105, 130.
Wintz 262, 287, 332, 349, 358, 363, 364, 397, 442, 531, 542, 552, 555, 557, 559, 564, 567, 569, 571, 582, 583, 588, 597, 598, 599, 601, 602, 603, 604, 605, 607, 610, 613, 614, 615, 617, 623, 626, 627, 628, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 638, 639, 644, 645, 650, 652, 654, 657, 658, 664.
Wissing 93.
Wittmaack 691, 692, 711, 712, 717, 720.
Witzel 695.
Wolff 26, 83, 84, 93, 98, 99, 130, 141, 144.
Wolfsberg 655, 663.
Wolze 391, 442.
Wood 594, 664.
Wortmann 67, 71, 87.
Wulf 300, 301, 302, 336, 364.
Wulff 271.
Yaloussis 290, 332, 333, 335, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 360, 362, 364.
Zaaijers 671.
Zacherl 532, 644, 645, 664.
Zander 550, 559, 561, 570, 574, 628, 664.
Zangemeister 535, 536, 664.
Ziegler 38, 93, 428, 442.
Ziegler, K. 523.
Zindel 526.
Zumpe 600, 664.
Zwank 574, 576, 584.
Zweifel 3, 540, 664.

Sachverzeichnis.

Absolute Temperatur und Ionisation durch Röntgenstrahlen 185.
Absorptionsbandkante 193, 215, 402.
— Wellenlänge 215.
— Definition 215.
Absorption der Röntgenstrahlung 169, 191ff., 213, 394, 398ff.
— Berechnung für Luft 195.
— Einfluß der Atomzahl 398.
— Einfluß der Strahlenqualität 398.
— Größe 398.
— Größe der Umsetzung in Sekundärstrahlung 405.
— im Gewebe 409.
— in Abhängigkeit von der Wellenlänge 409.
— in Elementen 399.
— in Verbindungen 399.
— quantenhafte 213.
— und Streuung im Gewebe 409.
— und Streuung in Abhängigkeit von der Wellenlänge 409.
— Verhältnis der gestreuten zur absorbierten Energie 197.
— Verhältnis zur Streuung 239.
— Vermehrung 394ff.
Absorption der Streustrahlung 238.
Absorption kinetischer Energie von Elektronen 224.
Absorptionsgesetz für Röntgenstrahlen 193, 323.
Absorptionsgrenze 402.
Absorptionskante 402, s. Absorptionsbandkante.
Absorptionskoeffizient 103, 169, 402.
— Bestimmung 170.
— Streuung 203.
— und charakteristische Strahlung 171.
— und Wellenlänge 170.
— wahrer 170.
Absorptionssprünge 399.
Absorptionssprünge, Größe 172ff., 399, 404.
— und photographische Röntgenspektroskopie 172.
Absorption und Ionisation 189.
Absorption von Energie beim Bohrschen Atommodell 212ff.
Absorption von Röntgenenergie
— quantenhafte 254.
— Umformung 223.
— Wesen 254.
Absorption, wahre 207, 213ff.
Abtrennungsarbeit 400, 407.
— beim lichtelektrischen Effekt 210.
— und Atomzahl 407.
— und Ordnungszahlen der Elemente 234, 258, 407.
Acidophilie des Protoplasmas 451.
Aequivalente Bleidicke 371. Näheres s. Bleidicke.
Aggregatzustand und Ionisation 187.
Aktinomykose d. Dickdarmes 26.
Akute Knochenatrophie 97, s. Knochenatrophie.
Allgemeinbefinden und Dosis in der Strahlentherapie 586.
Alter und Dosis bei der Strahlentherapie 586.
Ambulante Strahlenbehandlung des Kollumkarzinoms 602.
Anämie und Kollumkarzinom 600.
Analysator nach Glocker 168.
Anatomie, pathologische der Knochenatrophie 107, 111, 127, s. Pathologische Anatomie.
Anatomische Veränderungen bei der Miliartuberkulose 133.
— und Röntgenbild 134.
Anlage von Röntgenabteilungen 374ff.
Anregungsspannung 166.
Antikathode, charakteristisches Spektrum 163, 272, s. Charakteristisches Spektrum der Antikathode.
Antikathode, charakteristische Strahlung 163, 272.
Antikathodenmaterial und Intensitätsverteilung im Röntgenspektrum 161.
Appendicitis, fibroplastische 27.
Applikationsformen der Sekundärstrahler 390ff.
Arteria nutritia, Unterbindung und Knochenatrophie 113.
Atom, Einwirkung der Röntgenstrahlen auf das 182.
— Elektronenzahl 211.
— Energieabgabe 212.
— Energieaufnahme 212.
— Verteilung der elektrischen Ladung 211.
Atombau 164, 181, 182, 399ff.
— nach Lenard 211.
— nach Rutherford 211.
— nach Thomson 211.
Atomgewicht der Elemente und Elektronenzahl 199.
Atomistischer Aufbau der Elektrizität 209.
— der Materie 208.
Atommodell 210ff.
Atomphysik 208.
Atomtheorie 209.
Atomvolumina 209.
Atomzahl 164, 368.
Atomzahl und Röntgenspektrum 211, s. periodisches System der Elemente.
Atrophie, aktive 97.
— Knochenatrophie 97ff., s. Knochenatrophie.
— Sudeckscke s. Knochenatrophie 97.
Atrophie des Hodens, dauernde 471.
— Röntgenatrophie 445ff., s. Röntgenatrophie
— Verhältnis zur Röntgenatrophie 481.

Barytstein, Schutzwirkung 372ff.
— Verwendung zu Schutzwänden 376.
Basedow und Kollumkarzinom 599.
Bauchformen bei Darmstenosen 19.
Befruchtungsunfähigkeit nach Röntgenbestrahlung 473.
— Zeitpunkt 473.
Behnkens photographisches Dosimeter 357.
Bergonié-Tribondeausches Gesetz 486, 549.
Berliner Gerät 574.
Bestrahlung des Ösophaguskarzinoms 665ff., siehe dieses.
Bestrahlungsstatistik des Kollumkarzinoms 538ff.
Bestrahlungsraum, Anordnung 376.
— Ventilationseinrichtung 377.
— Zweckmäßige Gruppierung 377, 378.
Beton und Schutzwirkung 373.
Beugung 150.
— beim Licht 149.
Beugungsbilder von Röntgenstrahlen 149.
Beugungsgitter 150.
— Kristalle 150ff.
— Wellenlänge 150.
Beugung von Röntgenstrahlen 150.
— an Kristallen 150ff.
— — Berechnung der Wellenlänge aus dem Glanzwinkel 153.
— Glanzwinkel 152.
— Theorie 151ff.
— Wellenlänge und Einfallsrichtung 152.
— Wellenlänge und Beugungswinkel 150.
Biologische Intensitätsmessung der Röntgenstrahlen 613.
Blase und Kollumkarzinom 535, 536.
Bleibolzendilatation des Ösophaguskarzinoms 714.
Bleidicke, Äquivalente 371.
— definitive 372.
Bleiglashauben 379.
Bleiglasscheiben, notwendige Dicke 379.
— Schutzwirkung 379.
Bleischutz bei der Ionisationsmessung 292.
Blende bei der Ionisationsmessung 242ff.
Blendenöffnung, Konstanz 315.
Blendenstrahlung 242.
Blendenweite 245.
Bohrsches Atommodell 212ff.
und Absorption 212ff.
und Emission 212ff.
Bremsstrahlung 226.
- Energieverhältnis zur Kathodenstrahlung 226.
Theorie 226.
Brennfleckabstand 313.
- bei verschiedenen Kammern 314.
— Messung 313.
— und Dosenquotient 336.
und Ionisationsmessung 313.
und Tiefendosis 313.
- von der Röhrenwand 314.
Bronchiolitis obliterans und Miliartuberkulose 140.
Bronchopneumonische Herde und Miliartuberkulose im Röntgenbild 140.
Buckyeffekt der Knochenstruktur 120.

Carcinom siehe Karzinom.
Chaoulscher Strahlensammler 625.
Charakteristische Eigenstrahlung 219ff., 224ff., 369, 370, 399ff.
— Abhängigkeit der Intensitätsverteilung von der Spannung 273.
— Bedeutung 168.
— Berechnung der Wellenlänge 221.
— des Radium 712.
— Grenzwert der Intensität 273.
— Intensitätsverteilung 222.
— und Adsorption 401.
— und Absorptionskoeffizient 171.
— und Atomzahl 165.
— und kontinuierliches Spektrum 273.
— und Röhrenspannung 165, 225.
— und Wellenlänge der Primärstrahlung 370.
— Wellenlänge 221.
— Zusammenstellung der Beeinflussungsmöglichkeiten 282.
Charakteristische Fluoreszenzstrahlung s. charakteristische Eigenstrahlung 399.
Charakteristisches Spektrum der Antikathode 163.
Charakteristisches Spektrum, Abhängigkeit vom Antikathodenmaterial 163.
K-Spektrum 165.
— L-Spektrum 165.
— M-Spektrum 165.
N-Spektrum 165.
Charakteristische Strahlung der Antikathode 272, s. charakteristische Eigenstrahlung und charakteristisches Spektrum.
Chemische Analyse bei der akuten Knochenatrophie 110.
Chemische Sensibilisierung 388.
— Wesen 388.
Chemische Umsetzungen zur Dosimetrie der Röntgenstrahlen 359.
Christenscher Dosisbegriff 266.
Christenscher Heterogenitätsfaktor 331.
Coagulationsnekrose des Hodens 454.
Coecum und Colon ascendens, Tumoren 37ff.
— Abnorme Lage der Coecalklappe 38.
— Beobachtung des Ileums 37.
— Diagnose 37ff.
— Differentialdiagnose zur Ileocoecaltuberkulose 50.
— Ileocoecaltuberkulose 50.
— Invagination 39, 58.
— — Krankheitsbilder 58.
— — Röntgenbefunde 39, 58.
— Karzinom 38.
— — Diagnose 38.
— Formen 42.
— — Krankheitsbilder 39ff.
— — Röntgenbefunde 40ff.
— Kontrastmahlzeit bei der Röntgendiagnose 37.
— Pseudotumoren 53.
— — Diagnose 53.
— — Differentialdiagnose 56.
— — Krankheitsbilder 53.
— — Röntgenbefunde 53.
— Röntgendiagnostik 37.
— Sarkom 45.
— Tuberkulose 45.
— — Diagnose 45ff.
— — Differentialdiagnose 46ff.
— — Formen 50.
— — Krankheitsbilder 45ff.
— — Röntgenbefunde 46ff.
Colloidmetalle als Sekundärstrahler 391, 430ff.
— und Tumorwachstum 438.

Collumcarcinom s. unter Kollumkarzinom.
Colon ascendens s. Coecum und Colon ascendens 37.
Colon descendens 71.
— Spasmen 73.
— Topographie 71.
— Tumoren 71.
— — Differentialdiagnose 76.
— — Krankheitsbilder 72ff.
— — Röntgenbefunde 72ff.
— — röntgendiagnostische Technik 71.
— Übergangsstelle an der Sigmaschlinge 74.
Colon transversum, Tumoren 62ff.
— diagnostische Laparotomie 69.
— Differentialdiagnose 67.
— entzündliche 69.
— Krankheitsbilder 63ff.
— Röntgenbefunde 63.
— röntgendiagnostische Technik 62.
Compton-Elektronen 408, 409.

Darmblähung bei Tumoren 35.
Darmstenose, Bauchformen 9.
— Stenose bei Dickdarmtumoren s. Dickdarmtumoren.
Dauerheilung des Kollumkarzinoms 538.
Dauersterilisation 472.
— Dosis beim Menschen 472.
Depopulation, Bedeutung der Spermiogonien 459ff.
— Endeffekt 463.
— Kennzeichen 461.
— Nekrobiotische Erscheinungen 462.
— Stadien 457.
— und Latenzzeit, klinische 491.
— und Restitution 464.
— Veränderungen des Wandbelags 460.
— Verlauf 457ff.
Diagnose des Kollumkarzinoms s. Kollumkarzinom 531.
— hämolytische Reaktion 532.
— serologische Methode 531, 532.
Dickdarm, Kontur 13.
— Kontur bei verschiedenen Durchleuchtungsmethoden 3.
— Röntgendiagnose 3ff.
— Röntgenologische Darstellung der Haustren 14, 15.
Dickdarmtumoren, bei Aktinomykose 25, 86.
Dickdarmtumoren bei Lues 25, 86.
— bei Tuberkulose 24.
— der Flexura coli dextra 60, s. Flexura coli dextra.
— der Flexura lienalis 69, s. Flexura lienalis.
— der Sigmaschlinge 77.
— der Übergangsstelle des Coecum und Colon ascendens 37.
— des Colon descendens 71. s. Tumoren des Colon descendens.
— des Colon transversum 62 s. Colon transversum.
— Colon descendens in die Sigmaschlinge 74.
— diagnostische Laparotomie 3.
— Divertikulitis 28, 84.
— Enterolithen 13.
— fibroplastische Appendicitis 27.
— Formen 22.
— gestielte 16.
— gutartige Tumoren 24.
— Invagination 30.
— Karzinome 22, 23.
— Kottumoren 30.
— Pathologische Anatomie 22.
— Röntgendiagnostik s. Röntgendiagnostik.
— Sarkome 23.
— Sigmoiditis 85.
— Spezifische Entzündungen des Dickdarmes 24.
— Statistik 21.
— Unspezifische Entzündungen 26.
Dielektrikumsfehler bei der Ionisationsmessung 294.
Diffusion, Ausschaltung 185.
Diffusion von Ionen 184.
Dilatation des Ösophaguskarzinoms mit Bleibolzen 714.
— mit Sonde ohne Ende 715.
Divertikulitis 28, 84.
Dominici, Methode 546.
— Röhrchen 546.
Doppelflintenstenose, Payersche 69.
Dosenquotient 332.
— Bestimmung durch die Ionisation 333.
— Einfluß des Brennfleckabstandes 336.
— Einfluß der Dichte 341.
— Einfluß der Härte 338.
— Einfluß der Länge des Meßkammerstiftes 344.
— Einfluß des Mediums 341.
Dosenquotient, Einfluß der Meßkammergestalt 344.
— Einfluß der Meßkammergröße 344.
— Einfluß des Meßkammermaterials 344.
— Einfluß des Meßkammerstifts 344.
— Einfluß der Röntgenmaschine 342.
— Fehler bei der Bestimmung 342.
— praktische Messung 349.
— und Größe des Einfallsfeldes 335.
Dosierung bei der Röntgenbehandlung des Kollumkarzinoms s. Röntgenbehandlung des Kollumkarzinoms.
Dosierung bei der Röntgenbehandlung des Ösophaguskarzinoms s. Röntgenbehandlung des Ösophaguskarzinoms.
Dosimeter nach Friedrich 302.
Dosimetergeräte für Röntgenstrahlen 261.
Dosimeterverfahren für Röntgenstrahlen 353ff., s. Röntgendosimetrie.
Dosimetrie der Röntgenstrahlen 261ff.
— Bestimmung durch chemische Umsetzung 359.
— nach Wintz und Runge 358.
— Ungenauigkeit der Dosimetergeräte 262.
— Vereinheitlichung 263.
— verschiedene Dosimetergeräte 262.
Dosis in der Strahlentherapie, Definition 553.
— zweckmäßige Erzielung höherer Dosis 368.
Dosiseinheit 265.
— nach Krönig-Friedrich 267.
Dosismessung der Röntgenstrahlen s. Röntgendosimetrie.
Dosiszähler von Hammer 308.
— nach Jäger 309.
Drehkristallmethode zur Spektrographie nach Wagner 154.
Dresdener Gerät 575.
Druckluftkammer 238, 246.
— Ausführung von Messungen 249.
— Form 247ff.
— Material 248.
— nach Berg, Schwerdtfeger und Thaller 247ff.

Druckluftkammer ohne röhrenförmige Ansätze 249.
— praktische Kammerlänge 249.
— röhrenförmiger Ansatz 248.
— Sättigungsspannung 249.
— und weiche Strahlung 250.
Duane-Huntsches Gesetz 159, 225, 275.
Dunkeleffekt 294.

Effekt, lichtelektrischer 210.
Eichstandgerät zur Konstanzprüfung bei der Ionisationsmessung 320.
— Konstruktion 321.
— Gebrauch 321.
— Vorzüge 322.
Eigenstrahlung, charakteristische und Ionisation 186 s. charakteristische Eigenstrahlung.
Einfadenelektrometer nach Grebe 301.
Einfadenelektrometergeräte nach Lutz 300.
Einfallsfeld und Dosenquotient 335.
Einsteinsche Gleichung 214.
Einsteinsche Quantenbeziehung 159, 166, 168.
Eisen als Sekundärstrahler 392, 430ff.
Elektrizität, atomistischer Aufbau 209.
Elektromagnetische Röntgenstrahlung 153.
Elektromagnetische Strahlung 209.
Elektrometer 287.
— Ablesung 287.
— Eichung mit bekannten Spannungen 311.
— Einfluß des Glasfensters 295.
Erdung 295.
— Ionisationsmessung s. diese.
— Konstanz der Empfindlichkeit 313ff.
— Spannungseichung 311.
— Trägheit 287.
— Veränderung der Spannungsempfindlichkeit 316.
— wahre Ablaufszeit 295.
Elektrometergeräte, ablaufende 300.
— charakteristische Konstante 313ff.
— direkt zeigende 304.
— Formen 296ff.
— Kapazität 315.
Elektron, Masse 209.
Elektronen, Abhängigkeit der Zahl vom Druck 245.
— Absorptionsbandkante und Emission 420.
Emissionsfähigkeit der Elemente für Primärelektronen 187.
experimentelle Prüfung der Geschwindigkeit von Rückstoßelektronen 205.
— Gruppenanordnung 400.
— Maximum der Emission 420.
Minimum der Emission 420.
— photographische Darstellung 182.
— Rückstoßelektronen 205.
— Austrittsrichtung 205ff.
— Bahnlänge 206.
— — experimentelle Prüfung der Austrittsrichtung 205.
— — Geschwindigkeit 205ff.
— — Häufigkeit 205ff.
— Sekundärelektronen 226.
— Streuung an freien 201.
— Streuung an gebundenen 198.
— Tertiärelektronen 229.
— Verschiebung durch sichtbares Licht 400.
— Wirkungsweite 409.
Elektronenbahnen, Schalenanordnung 212ff.
Elektronenemission 213, 214.
Elektronenemission und Wellenlänge der Primärstrahlung 214.
Elektronenemissionsvermögen u. periodisches System der Elemente 188.
Elektronenenergie und Qualität der Primärstrahlung 217ff.
Elektronengeschwindigkeit 214.
— Messung 217ff.
— Sichtbarmachung 219.
— und Lage zum Atomkern 217ff.
Elektronenrichtung und Qualität der Primärstrahlung 219.
Elektronenstrahlung, sekundäre 390, 407, 426.
— — Absorbierbarkeit 390, 408.
— Ausnutzbarkeit 435.
— Ausschaltung 424.
— — Bedeutung 408.
— — Effekt 435.
— — Nachweis, Methoden 426.
— — Reichweite 391.
— — und Absorption 419.
— — und Abtrennungsarbeit 420.
— — und Atomzahl 426.
Elektronenstrahlung, sekundäre und physikalische Sensibilisierung 390.
— — und Qualität der Primärstrahlen 419, 427.
— — und Sekundärstrahlung im Verhältnis zur Ionisation 423.
— Ursprung 407.
Elektronenzahl eines Atoms 211.
— — und Ordnungszahl 211.
Elektronenzahl und Atomgewicht der Elemente 199.
— und Streustrahlung 198ff.
Elektroskop nach Back 304.
Emanation, Gewinnung 592.
— Halbwertzeit 592.
Messung 592.
— Technik der Anwendung 593.
Emanationsbehandlung 591, s. auch Emanation.
— Applikation 592.
— Dosierung 594.
— Indikation 594.
— Janewaysches Verfahren 592.
— Messung 591.
— Stevensonsches Verfahren 592.
— Technik 593.
— Vorteile 591, 594.
Emergenzstrahlung 414ff. s. Sekundärstrahlung der Emergenzseite.
Emission beim Bohrschen Atommodell 212ff.
— charakteristische Strahlung 219ff.
— von Elektronen 213.
— von Röntgenstrahlen 213, 224ff.
— von Sekundärelektronen 226.
Emissionsfähigkeit der Elemente für Primärelektronen 187.
— Messung 187.
Emissionskoeffizient 404.
Endophytische Ausbreitung des Kollumkarzinoms 532.
Energie, Definition 210.
— kinetische 210.
Energieabgabe des Atoms 212.
Energieaufnahme des Atoms 212.
Energieaustausch, quantenhafter 210.
Energiebilanz der absorbierten Primärstrahlung 406.
Energiemessung der Röntgenstrahlen 253ff.
— durch charakteristische Sekundärstrahlung 255.

Energiemessung, Messung durch Ionisationswirkung der Primärelektronen 256ff.
— Messung durch Wärmewirkung bei der Absorption 258.
— Messung durch Zahl der Primärelektronen 256.
— Unsicherheit 261.
Energieverlust der Röntgenstrahlen bei der Ionisation 191.
Entdeckung der Ionisation durch Röntgenstrahlen 181.
Entdifferenzierung der Sertolizellen 512.
— — — histologisches Bild 514.
Enterolithen 30.
Entzündungen, spezifische des Dickdarmes 24.
— Aktinomykose 26.
Lues 25.
— Tuberkulose 24.
— unspezifische 26.
Eosin 386.
— u. Röntgenbestrahlung 386ff.
Eosinophilie und Prognose des Kollumkarzinoms 589.
Epiphysenfuge, Verhalten bei Knochenatrophie 105.
Erdung bei der Ionisationsmessung 295.
Erythemdosis 615 s. Röntgenerythem.
— mittlere Gebrauchs- 569.
— Unterschiede 568.
Erythemzeiten 622.
— und Abstand des Radiumpräparats 560, 566.
— und Präparatlänge 561.
Excochleation beim Kollumkarzinom 551.
— Gefahren 552.
Exophytische Ausbreitung des Kollumkarzinoms 533.
Exponentialfunktion 368.
Extremitätenenden als Prädilektionsstellen der Knochenatrophie 105.

Farbstoffe, fluoreszierende 385ff.
— pharmakologische Wirkung 389.
Felderwähler von Holfelder 350, 621.
Feuchtigkeit, Einfluß auf die Ionen 189.
Fiebersteigerung bei der Aktinotherapie des Kollumkarzinoms 551.
Fiebersteigerungen und Kollumkarzinom 600.
Filterung bei der Radiumbestrahlung 573.
— diskontinuierliche 576.
— von Röntgenstrahlen, Brauchbarkeit der verschiedenen Filter zur Härtemessung 329.
— und Härte der Röntgenstrahlen 281, 323.
— und kontinuierliches Röntgenspektrum 281, 323.
— Verhältnis von Absorption zur Streuung bei der Auswahl 327.
Fingerhutkammer 230ff.
— Druckkorrektur 252.
— Einfluß der Bestrahlungsrichtung 290.
— Eintauchtiefe bei der Messung der Oberflächendosis 342.
— Maße 243.
— Material 243ff.
— Stiftlänge 243.
— Wandwirkungsbeitrag 242.
— Wirkungsausfall 242.
Flexura coli dextra, Diagnose 70.
— Differentialdiagnose 70.
— Krankheitsbilder 70ff.
— Röntgenbefunde 70ff.
— Topographie 69.
— Tumoren 2.
Flexura coli lienalis, Diagnose 60.
— Differentialdiagnose 61.
— Krankheitsbilder 60.
— röntgendiagnostische Technik 60.
— Topographie 60.
— Tumoren 60.
Fluoreszenz 385ff.
— Zusammenhang mit der photdynamischen Wirkung 388.
Fluoreszenzhelligkeit zur Dosimetrie der Röntgenstrahlen 351.
Fluoreszenzstrahlung, charakteristische 168, 388 s. charakteristische Eigenstrahlung 399.
— Bedeutung 169.
— Härte und Atomzahl 401.
— und Wellenlänge der Primärstrahlung 168.
Fluoreszierende Farbstoffe 385ff.
— pharmakologische Wirkung 389.
Fluoreszierende Substanzen, Erfolge bei der Sensibilisierung 387ff.
Fluoreszierende Substanzen, Sensibilisierung 386ff.
— Veränderungen im Gewebe 387.
— Vorgehen bei der Sensibilisierung 387.
Folienfaktor 356.
Fraktionierte Bestrahlung beim Hoden 483.
Frühdiagnose des Kollumkarzinoms 531.
— und mikroskopische Untersuchung 531.
Füllungsdefekt bei Dickdarmtumor 31.
Fürstenau-Intensimeter 262, 353.

Gasdichte und Ionisation durch Röntgenstrahlen 185.
Gase, Abhängigkeit von der Wellenlänge 190.
— Berechnung 188.
— relative Ionisation 188.
Gastrostomie beim Ösophaguskarzinom 671.
Gefäßversorgung und Knochenatrophie 110.
Geschwindigkeit der Sekundärelektronen 226.
Glanzwinkel bei der Beugung von Röntgenstrahlen 152 s. Beugung an Kristallen.
Gleichmäßigkeit der Schutzwirkung 379.
Glockerscher Analysator 168.
— Konstruktion 168.
Glockersche Formel des Schwächungskoeffizienten 193, 195.
Glühkathodenröhre 282.
Gold als Sekundärstrahler 396, 430ff.
Grenzwellenlänge des kontinuierlichen Röntgenspektrums 160, 275.
— und Antikathode 276.
— und Röhrenart 276.
— und Röhrenspannung 160, 275ff.
— und Strahlenrichtung 276.
Gruppeneinteilung des Kollumkarzinoms 532.
— und Operabilität 536.
Weiteres s. Kollumkarzinom.

Hämolytische Reaktionen zur Diagnose des Kollumkarzinoms 532.

Härte der Röntgenstrahlen 323 ff., 611.
— Bestimmung durch die Halbwertschicht s. Halbwertschicht.
— Bestimmung durch den Schwächungskoeffizienten 325 ff.
— Einfluß auf den Dosenquotienten 338.
— Messung 268 s. Härtemessung.
— und Filterung 323.
— und Ionisation 324.
Härtemessung der Röntgenstrahlen 323.
— Brauchbarkeit der verschiedenen Filter zur Härtemessung 329.
— durch den Heterogenitätsfaktor 331.
— durch den Massenabsorptionskoeffizienten 329.
— durch die prozentuale Tiefendosis in Wasser 331.
— durch Messung der Absorption 204.
— für praktische Zwecke 332.
— Versagen der Filtermethode 328.
H.E.D. 263.
— Differenzen 263.
Haftpflichtfrage gegenüber dem Röntgenpersonal 375.
Halbwertschicht 325, 611.
— Beeinflussung durch die Messung 325.
— Bestimmung 325.
— Definition 325.
— Eindeutigkeit 331.
Hallwachseffekt 210.
Hartfilterung bei der Radiumtherapie 546.
Haustren röntgenologische Darstellung 14, 15.
Hautrötungsmessung 262.
Heidelberger Gerät 573.
Heilfaktor nach Wintz 599.
Heilungsziffer nach zehn Jahren des Kollumkarzinoms 537 ff.
Heredozelluläre Schädigung 466.
Heredozelluläre Wirkung 508.
Heterogenitätsfaktor nach Christen 331.
Hilfselektroden 248.
Histologie bei der Knochenatrophie 107 ff., 111.
— beim Kollumkarzinom 534.
Histologische Veränderungen beim Karzinomzerfall 652.
Histologische Veränderungen bei der Miliartuberkulose 133.
Hodenanatomie 449.
Röntgenatrophie 445 s. Röntgenatrophie.
Hodeninkretion 505.
Holfelderscher Fẹlderwähler 350.
Holthusens Theorie 257.
Holzknecht-Radiometer 630.
Homogenbestrahlung 626.
— extreme 627.
praktische 627.
— Vorteile 627.
Homogenität, praktische, eines Röntgenstrahlengemisches 326, 611.
Homogenitätspunkt eines Röntgenstrahlengemisches 326.

Ileocoecaltuberkulose, Diagnose 50.
— Differentialdiagnose 50.
— Formen 50.
Ileus 18, Dickdarmileus s. Dickdarmtumoren.
Immunisierungszustand und Formen der Miliartuberkulose 134.
Inaktivitätsatrophie des Knochens 114 s. Knochenatrophie.
— Bedeutung der Zirkulationsstörung 115.
– einfache 107.
– hypertrophierende 107.
– Kritik 115.
– reine 114, 116.
– Röntgenbild 98.
– und akute Knochenatrophie 98, 127.
Innere Sekretion der Sertolizellen 518.
— — und Kollumkarzinoms 600.
Intensität der Röntgenstrahlen, Bestimmung durch Ionisationsmessung 612.
— — biologische Bestimmung 613, s. auch Röntgenstrahlen.
Intensitätsabnahme bei der Tiefendosis 349.
Intensitätsverteilung bei der Röntgentherapie des Kollumkarzinoms 617.
— nach Dessauer 619.
nach Holfelder 618.
Intensitätsverteilung der charakteristischen Strahlung 222.
Intensivbestrahlung bei der Röntgenbehandlung des Ösophaguskarzinom 676.
Intubation beim Ösophaguskarzinom 671.
– bei Röntgenbehandlung des Ösophaguskarzinoms 674.
Invagination 30, 39, 58.
– Krankheitsbilder 58.
– Röntgenbild 59.
Ionenrekombination 184.
Ionisation (durch Röntgenstrahlen) 181 ff.
– Abhängigkeit vom Druck 244.
– — in der Fingerhutkammer 252.
— in der großen Kammer 251.
– Abhängigkeit von der absoluten Temperatur 185.
Abhängigkeit von der Gasdichte 185.
– Abhängigkeit von der Ordnungszahl 232.
— Abhängigkeit von der Temperatur 185.
— Abhängigkeit von der Wellenlänge der Röntgenstrahlung 189, 190.
— an den Kammerwänden 232.
– Anteil der Rückstoßelektronen 207.
– Ausschaltung der Diffusion 185.
– Ausschaltung der Rekombination 185.
– bei wahrer Absorption 207, 213 ff.
– Berechnung 188.
— der Luft, reine 188.
— durch Rückstoßelektronen 207.
— durch Streustrahlung 207.
– Einfluß der charakteristischen Eigenstrahlung 186.
— Einfluß der Diffusion 184.
– Einfluß der Feuchtigkeit 189.
– Einfluß der Rekombination 184.
– Energieverlust der Röntgenstrahlen durch die Ionisation 191.
– Entdeckung 181.
— Korrekturformel für Temperatur und Druck 186.
– kritischer Druck 245.
— Messung reiner Luftionisation 242 s. Ionisationsmessung.
– relative, von Gasen 188.
— Sättigungskurve 185.
— Sättigungszustand 185.

Ionisation, Spannung zur Erzielung von Sättigung 185.
und Absorption von Röntgenstrahlen 189.
— und Aggregatzustand 187.
— und Länge der Ionisationskammer 233.
— Verhältnis von Elektronen und Sekundärstrahlung 423.
— von festen Körpern 187.
— von Gasen 181ff., 187.
— Wandwirkungsbeitrag 231ff.
— Wirkungsausfall 231ff.

Ionisationsarbeit und Quantenbahn 214.

Ionisationskammer 230ff.
— Behnkensche Kammer 250.
— Blendenanordnung 291.
— Blendenbohrung 291.
— Blendenweite 245.
— Druckluftkammer 238s. diese.
— Durchmesser der Kammerblende 242.
— Einfluß des Kammerdrucks 251, 252.
— Einfluß der Kammergröße 231.
— Fingerhutkammer 230ff.
— Formen 230.
— Gestaltsveränderung 316.
— große Kammer 230ff.
— Hilfsblenden 291.
— Kammergröße 231.
— Kammerlänge 233.
— Korrektur auf Normaldruck 251.
— Maße 244.
— Material 244.
— Mindestmaße 247.
— Prinzip 230.
— Schutzelektrode s. diese.
— theoretische Kammerlänge 247.
— Vergleich der verschiedenen Kammern 232.
— vorgeschobenes Fenster 240, 245.
— Wahl des Wandmaterials 237.

Ionisationsmessung 285.
— ablaufende Elektrometergeräte 300.
— Abstand vom Brennfleck 285.
— Ablaufszeit, wahre, des Elektrometers 295.
— Abstoppmethode 287.
— Angabe der Dosis in „R“ 352.
— Aufladevorrichtungen 298.
— Ausschaltung subjektiver Einflüsse 287.

Ionisationsmessung, beim kontinuierlichen Röntgenspektrum 159.
— Bestimmung der Tiefendosis 352.
— Bleischutz der Meßanordnung 292.
— Dielektrikumsfehler 293.
— direkt zeigende Geräte 304.
— Dosimeter von Friedrich 302.
— Dosiszähler nach Hammer 308.
Dosiszähler nach Jäger 309.
— Dunkeleffekt 294.
— Einfadenelektrometer nach Grebe 301.
— Einfadenelektrometer nach Lutz 300.
— Einflüsse des Geräts 287.
— elektrometrische Messung 286.
— Elektroskop nach Back 304.
— elektrostatischer Schutz 295.
— Empfindlichkeit 351.
— Entfernung des Filters 292.
— Erdung 295.
— Filteranordnung 291.
— Gebrauch des Eichstandgeräts 321.
— Grenzen der Ionisationsmethode 612.
— Härtemessung 351.
— Hergang 350.
— Intensitätsmessung 351.
— Intensität und Sättigungsspannung 309.
— Isolationsfehler 293.
— Ionimeter nach Martius 301.
— Ionimeter nach Wulf 302.
— Iontoquantimeter nach Reiniger, Gebbert und Schall 302.
— Iontogalvanometer von Janus 304.
— Justierung der Fingerhutkammer 290.
— — der großen Kammer 290.
— — und Fehlerquellen 290.
— Konstanz der Trägerzahl 315.
— Konstanzprüfung durch das Eichstandgerät 320.
— — durch Radium 317ff. s. Radium.
— Konstruktion des Eichstandgeräts 321.
— Korrekturformel für Normaldruck 252ff.
— Meßgeräte 296.
— Meßmethoden 287.
— Mittelwertbildung 289.

Ionisationsmessung, physikalische Grundlagen 285.
— Prüfung konstanter Empfindlichkeit 351.
— psychologische Einflüsse 287.
— Reihenfolge der Beobachtung 288.
— Sättigung 296.
Sättigungsprüfung 309, 311, 350.
— Schutzringprinzip 297.
— Siemens Röntgendosismesser 305.
— Spannungseichung 309, 351.
— spektrale 323.
Stellung zu anderen Dosimeterverfahren 353.
und Brennfleckabstand 313.
— Veränderung der Spannungsempfindlichkeit des Elektrometers 316.
— Vorbereitung 350.
zur Bestimmung der Intensität der Röntgenstrahlen 612.
— zur Bestimmung der Tiefendosis 332ff.
— Zweielektrometermethode 289.
— Zweifadenelektrometer nach Wulf 301.
Ionisationsmeßgerät 315.
— Kapazität 315.
— und Härte der Röntgenstrahlen 324.
— Veränderung der Empfindlichkeit 316.
Ionisationsspektrum, kontinuierliches 274.
Ionisationsverfahren, Vorzüge 180.
Ionisationsvorgang 181, 182.
Ionisierungseffekt verschiedener Wellenlängen 257.
Ionimeter nach Martius 301.
— nach Wulf 302.
Iontogalvanometer von Janus 304.
Iontophorese zur Applikation von Sekundärstrahlern 397.
Iontoquantimeter nach Reiniger, Gebbert und Schall 302.
Isodosenkurven 346.
Isolationsfehler bei der Ionisationsmessung 293.
Inzidenzstrahlung 411 s. Sekundärstrahlung der Inzidenzseite.

Jod als Sekundärstrahler 392, 430ff.

Kalorimetrische Messung der Röntgenenergie 259.
— Vergleich mit der Ionisation 259.
Karzinom des Dickdarms 22 s. Dickdarmtumoren.
Karzinomdosis 555, 602, 603, 642.
— beim Kollumkarzinom 642.
— beim Ösophaguskarzinom 675.
— Definition 604
— Einwände 604ff.
— Existenz 604.
— Größe 603.
— Schwankungen 603.
Karzinomzerfall 652ff.
— histologische Veränderungen 653.
— Kernveränderungen 653.
Karzinose miliare und Miliartuberkulose 138.
Kathodenstrahlung, sekundäre 369.
— und Brunsstrahlung 226.
Kehlkopfröntgenschädigung bei Bestrahlung vom Ösophaguskarzinom 675.
Kernablenkung 226.
Kernveränderungen 653.
Kinetische Energie von Elektronenabsorption 224.
Kittlinien bei akuter Knochenatrophie 108.
Knochenatrophie 97ff.
— akute 97ff.
— — Ätiologie 116.
— — als selbständige Krankheit 104.
— Bedeutung entzündlicher Prozesse 116.
— — Begleiterscheinungen 106.
— — bei entzündlichen Prozessen 102.
— bei Erfrierungen 102.
— bei Hautkrankheiten 104.
— bei Systemerkrankungen 102.
— bei Traumen 103.
— bei vasomotorischen Störungen 103.
bei Verbrennungen 102.
— chemische Analyse 110.
— Differentialdiagnose 126.
— Entwicklung des Begriffs 97ff.
— Erklärung des Röntgenbildes 124ff.
— experimentelle Versuche 127.
— Histologie 108.
— makroskopische Veränderungen 107.
Knochenatrophie, neurotrophische Störungen 116, 118.
— Osteoklastenformen 110.
— pathologische Anatomie 107.
— primäre Noxe 102.
— Prognose 107.
— Röntgenbild 120ff.
— Strukturbild 124ff.
— Sudecksche Knochenatrophie 102ff., 116ff.
— und Inaktivitätsatrophie 98.
— und Muskulatur 106.
— und Osteoklastentätigkeit 118.
— und sensible Nerven 103.
— und Stauung 117.
— und Zirkulationsstörungen im Knochenmark 117.
— vasomotorische Störungen 116, 118.
— ältere Anschauungen 99.
— Ätiologie 113, 127.
— Ätiologie der Inaktivitätsatrophie 114.
— Ätiologie der senilen Atrophie 114.
— Bedeutung der Zirkulationsstörung bei der Inaktivitätsatrophie 115.
— bei Nervendurchschneidung 111.
— Berechtigung der Einteilung 104.
— Dauer 105.
— Differentialdiagnose 128.
— Einteilung 101, 114.
— Erklärung der Unterschiede im Röntgenbild 122.
— Experimentelle Erzeugung 111.
— Formen 101, 104.
— Inaktivitätsatrophie 114.
— Klinik 106.
— Kritik der reinen Inaktivitätsatrophie 115.
— Latenzzeit 104.
— Latenzzeit im Röntgenbild 104, 128.
Latenzzeit, minimale 105.
— Lokalisation 105.
— Lokalisation und Gefäßversorgung 106.
— mittlere Latenzzeit 165.
— pathologische Anatomie 101, 127.
— Prädilektionsstellen 105.
— Prognose 128.
— reine Inaktivitätsatrophie 114, 116.
— Röntgenbild 97, 100, 120, 127.
Knochenatrophie, Röntgenbild und histologische Struktur 121ff.
— senile Atrophie 114.
— Struktur 98.
— Strukturbild 124.
— sympathische Erkrankungen des Knochenmarks 116.
— und Gefäßversorgung 110.
— und hysterische Lähmungen 115.
und neurotrophische Einflüsse 111.
— und Ruhigstellung 112.
und Sympathektomie 113.
— und Unterbindung der Arteria nutritia 113.
— und vasomotorische Störungen 110, 111, 112, 113.
— und Zirkulationsstörungen 117.
— Unterschiede im Röntgenbild 120.
— Verhalten der Epiphysenfuge 105.
Knochenmark, sympathische Erkrankungen 116.
— Zirkulationsstörungen 117.
Knochenrarefikation 98.
Kolliquationsnekrose des Hodens 455.
Kollumkarzinom 527ff.
— absolute Heilungsziffer 659.
— Ätiologie 534.
Äußere Form 533.
— Anämie 600.
— Ausbreitungsrichtung 535.
— Ausbreitung und Lymphstrom 535.
— Bedeutung der äußeren Form für die Radiumtherapie 533.
— Bestrahlungsstatistik 538ff.
— Dauerheilung 538.
— Diagnose 531.
— Diagnose des Rezidivs 542.
— Einfluß des Gesamtorganismus 534.
— Einteilungsprinzip 534.
— Emanationsbehandlung 591 s. Emanationsbehandlung.
— endophytische Ausbreitung 533.
— Excochleation 552.
— exaphytische Ausbreitung 533.
— Fiebersteigerung 601.
— formale Diagnose 532.
— Frühdiagnose 531.
— funktionelle Diagnose 532.

Kollumkarzinom, Gefahren der Probeexzision 531.
— Gesamtstatistik 538ff.
— Gesichtspunkte bei der Therapie 538ff.
— Gruppeneinteilung 532.
— Gruppeneinteilung und Operabilität 536
— hämolytische Reaktionen zur Diagnose 532.
— Heilungsverlauf 541.
— Heilungsziffer nach 10 Jahren 537ff.
— histologische Struktur 534.
— histologische Struktur und Radiosensibilität 556.
— innere Form 534.
— Lebensdauer 541.
— Lebermetastasen 543.
— mikroskopische Untersuchung und Frühdiagnose 531.
— Metastasenbildung 543.
— Mitbeteiligung der Blase 535.
— Mitbeteiligung des Ligamentum sacro-uterinum 535.
— Mitbeteiligung der Lymphdrüsen 536.
— Mitbeteiligung der Parametrien 535.
— Mitbeteiligung des Rektums 536.
— Mitbeteiligung des Ureters 536.
— Mitbeteiligung der Vagina 535.
— Operabilitätsziffer 537.
— Operationsstatistik 538ff.
— Operieren oder Bestrahlen? 537ff.
— Probeexzision 531, 551.
— Prognose und Eosinophilie 589.
— Reifegrad und Radiosensibilität.
— Rezidivbehandlung 544.
— Rezidivbildung 542.
— Schmerzlinderung 544.
— Schwierigkeiten der Diagnose 531, 535.
— serologische Diagnostik 532.
— Spontanheilung 555.
— Statistik der einzelnen Gruppen 539.
— Strahlenschädigung 543.
— Strahlentherapie 538ff. s. Strahlentherapie des Kollumkarzinoms.
— Therapie inoperabler Fälle 540.
— Therapieschädigungen 543.
— und Basedow 599.
— und Haut 600.
Kollumkarzinom, und innere Sekretion 600.
— und Schwangerschaft 599.
Kombinierte Röntgen: Radiumbestrahlung beim Kollumkarzinom 587, 647.
— Dosierung 648.
— Methodik 648.
— Schwerpunkt 647.
— Unsicherheit 647.
— Vorteile 588.
— Wiederholung 649.
Kombinierte Röntgen: Radiumbestrahlung beim Ösophaguskarzinom 717.
— Erfolge 717.
Konservierungsmethoden zur histologischen Untersuchung des Hodens 495.
Konstanz der Empfindlichkeit des Elektrometers 313.
— Konstanzprüfuug 313.
Kontinuierliches Röntgenspektrum 151 s. a. Röntgenspektrum, kontinuierliches.
— Abhängigkeit der Härte von der Röhrenspannung 277.
— Abhängigkeit der Intensität von der Röhrenspannung 276.
— Abhängigkeit vom Azimut 280.
— Abhängigkeit von der Antikathode 280.
— Abhängigkeit von der Röhrenart 279.
— Abhängigkeit von der Spannungsform 278.
— als Methode zur Bestimmung der Röhrenspannung 274.
— Energieverteilung 274.
— Grenzwellenlänge 275.
— Grenzwellenlänge und Antikathode 276.
— Grenzwellenlänge und Röhrenart 276.
— Grenzwellenlänge und Strahlenrichtung 276.
— und charakteristische Strahlung 273.
— und Röhrenspannung 274.
— Zusammenstellung der Beeinflussungsmöglichkeiten 282.
Kontrasteinlauf 5, 17.
— kombiniert mit Kontrastmahlzeit 8.
— kombiniert mit Luftaufblähung 10.
— kombiniert mit Stauung 34.
Kontrasteinlauf, kombiniert mit Kontrasteinlauf 8.
— und Stauung 34.
Kontrastmischungen 5.
Kottumoren 30.
Kreuzfeuerbestrahlung 574.
Kristallaufbau 150ff.
Kristalle als Beugungsgitter 150ff.
— Theorie der Beugungserscheinungen 151ff. s. Beugung an Kristallen.
Kritischer Druck bei der Ionisation 245.
Krönig-Friedrichsche Dosiseinheit 267.
Kupfer als Sekundärstrahler 397, 430ff.

Laparotomie, diagnostische 3.
Latenzzeit bei der Knochenatrophie 104 s. Knochenatrophie.
— bei der Röntgenatrophie des Hodens 491.
— — Definition 492.
— — Dosis 451ff., 492.
— — klinische Latenz 491.
— — klinische und Depopulation 491.
— — mikroskopische Latenz 491.
— — und Elemente des Samenepithels 492.
— — und Spermiogonien 493, 520.
— — Verdeckung 491.
Laue's Versuche 149.
— Diagramm 152.
Lebensdauer beim Kollumkarzinom 541.
— beim nicht bestrahlten Ösophaguskarzinom 672.
Lebermetastasen beim Kollumkarzinom 543.
Lichtelektrischer Effekt 210.
— und Abtrennungsarbeit 210.
Lichtstrahlen, ihr Verhältnis zu den Röntgenstrahlen 209.
Ligamentum sacro-uterinum und Kollumkarzinom 535.
Lochkameramethode nach Seemann zur Spektroskopie der Röntgenstrahlen 155.
Lues des Dickdarms 25.
— des Sigmoids 86.
Luftaufblähung des Dickdarms, Klappenmechanismus 36.
— Kombination mit Kontrasteinlauf 10.

Luftblähung, Lage des Patienten 10.
— Technik 10.
— Verhältnis von Flüssigkeit und Luft 11.
Luftionisation, reine 188.
— und Wandstrahlung 236.
Luftmoleküle, mittlere Geschwindigkeit 184.
Lungen, Beteiligung bei der Miliartuberkulose 133.
Lymphdrüsen, Mitbeteiligung beim Kollumkarzinom 536.
Lymphstrom und Ausbreitung des Kollumkarzinoms 535.

Massenabsorptionskoeffizient zur Bestimmung der Strahlenhärte 329.
Materie, atomistischer Aufbau 208.
Mediastinitis beim Ösophaguskarzinom 683.
— bei Sondenbehandlung 685.
Mesenterialsteine 60.
Meßgeräte zur Ionisationsmessung 296 s. Ionisationsmessung.
Meßkammer zur Ionisationsmessung, Einfluß der Gestalt auf die Tiefendosis 344.
— Einfluß der Kammergröße 344 s. auch Ionisationsmessung.
— Länge des Kammerstifts 344.
— Lage des Meßkammerträgers 343.
— Material zur Ionisationsmessung 244.
— Material und Tiefendosis 344.
Messung der Ionisation s. Ionisationsmessung.
Messung der Röntgenenergie s. Energiemessung.
Messung sehr schwacher Röntgenstrahlen 188.
Metallsalze als Sekundärstrahler 389ff.
Metamorphose, regressive der Sertolizellen 515.
Metastasen beim Kollumkarzinom 543.
Metastasenbildung beim Ösophaguskarzinom 668.
Miliartuberkulose 133ff.
— anatomische Veränderungen 133.
— Anatomie und Röntgenbild 134.
— ausgeheilte 141.
Miliartuberkulose, Charakteristika 133.
— charakteristisches Röntgenbild 134ff.
— Differentialdiagnose im Röntgenbild 138.
Formen 133.
— Formen im Röntgenbild 136.
— Formen und Virulenz der Tuberkelbazillen 134.
— Größe der Herde im Röntgenbild 135 s. Röntgenbild der Miliartuberkulose.
— histologische Veränderungen 133.
— Immunisierungszustand und Formen 134.
— Lungenbeteiligung 133.
— Röntgenbefund bei sehr akuter 137.
— Röntgenbild s. auch Röntgenbild der Miliartuberkulose.
— Röntgenbild der ausgeheilten 141.
— Röntgenbild und Diagnose 134.
— Schattenverteilung im Röntgenbild 139.
— Täuschungen beim Röntgenbefund 138.
Theorie des Röntgenbefundes 137.
— und Bronchiolitis obliterans 140.
— und bronchopneumonische Herde 140.
— und miliare Karzinose 138.
— und Pneumokoniose 141.
— Ursache 133.
— Wesen 133.
— Zeitpunkt des positiven Röntgenbefundes 138.
Mitosen, Röntgenempfindlichkeit 448, 507.
— Ruhestadium 448.
— und Einwirkung von Röntgenstrahlen 653.
Mitosenfreie Zwischenzeit 509.
Molekülionen, Wertigkeit 183.
Münchner Gerät 575.
Musculus sphincter coli transversi 66.

Nachbestrahlung, postoperative, beim Kollumkarzinom 643.
— Dosierung 644.
— Erfolge 645.
— Gefahren des Radium 643.
— Methode der Wahl 644.
— Statistik 646.
Nachbestrahlung, Technik 644.
— Zeitpunkt 643.
Nagelkappen 376.
Neoplatte 428.
Nervendurchschneidung und Knochenatrophie 111.
Netzspannung, Einfluß auf die Röntgenstrahlen 284.
— Notwendigkeit der Regulation 284.
— Regulation 284.

Oberflächendosis 332ff.
— und quadratisches Abstandsgesetz 342.
Ösophagoskopie 670.
Ösophagoskopische Methode der Radiumbehandlung, Art der Einführung 692.
— Dauer des Erfolges 691.
— Erfolge 690.
— Methodik 690.
— Radiumpräparat 691.
— Schwierigkeiten 692.
Ösophagus, Anatomie 667.
— physiologische Engen 667.
— Topographie 667.
Ösophaguskarzinom 667ff.
— Beginn der Behandlung 669.
— Chirurgische Therapie 671.
— Cirrhus 667.
— Diagnose 668.
— Dilatation mit Bleibolzen 714.
— mit Sonde ohne Ende 715.
— Formen 667.
— Gastrostomie 671.
— Indikation der Sondenbestrahlung 680 s. Sondenbestrahlung.
— Intravenöse Radiumtherapie 716.
— Intubation 671.
— Kombinierte Radium-Röntgen-Therapie 717.
— — Erfolge 717.
— Krankengeschichten 84, 90, 91, 92, 700ff.
Lebensdauer der Nichtbestrahlten 672.
— Mediastinitis 683.
— medulläre Form 668.
— Metastasen 668.
— Ösophagoskopie 670.
— papilläre Form 668.
— pathologische Anatomie 667.
— Perforationsgefahr 671.
— Probeexzision 670.
— Radiosensibilität 707.
— Radiumbehandlung 677 s. Radiumbehandlung.

Ösophaguskarzinom, Röntgenbestrahlung 672 s. Röntgenbestrahlung des Ösophaguskarzinoms.
— Röntgendiagnose 669 s. Röntgendiagnose.
— Röntgen-Radium-Behandlung 667.
— Sondenbestrahlung 677.
— Sondierung 670.
— Stadium und Erfolg der Therapie 669.
— und Hautkrebs 707.
Operabilität des Kollumkarzinoms 536 s. Kollumkarzinom.
Operabilitätsziffer des Kollumkarzinoms 537.
Operationsstatistik des Kollumkarzinoms 538ff.
Optische Sensibilisierung 385ff. s. Sensibilisierung.
Ordnungszahlen der Elemente und Röntgenspektrum 211.
Osteoklastenformen bei akuter Knochenatrophie 110.
Osteoklastentätigkeit und akute Knochenatrophie 118.

Paraffin als Wandmaterial von Ionisationskammern 237.
Parametrien und Kollumkarzinom 535.
Parametritis atrophicans radiotherapeutica 591.
Pathologische Anatomie der Dickdarmtumoren 22 s. Dickdarmtumoren.
— der Knochenatrophie 107, 111, 127.
Payrsche Doppelflintenstenose 69.
Payrsche Krankheit 70.
Perforation des Ösophaguskarzinoms bei der Radiumbehandlung 711.
— bei der Sondenbestrahlung 687.
— bei der Sondierung 671.
Periodisches System der Elemente 164ff., 208.
— und Elektronenemissionsvermögen 188.
Physikalische Dosis bei der Röntgentherapie 616.
— Grundlagen des Strahlenschutzes 367.
Photodynamische Erscheinung 385ff.
— Wesen 388.
Photographisches Dosimeter nach Behnken 357.
Photographische Platte zur Röntgendosimetrie 354.
— Zuverlässigkeit 357.
Planck-Einsteinsche Gleichung 275.
Plancksche Wirkungskonstante 400.
Plancksches Wirkungsquantum 210.
Platin als Sekundärstrahler 396, 430ff.
— Röntgenspektrum 272.
Pneumokoniose und Miliartuberkulose im Röntgenbild 141.
Pneumoperitoneum 11.
Polarisation der Streustrahlung 199.
Postoperative Nachbestrahlung des Kollumkarzinom s. Nachbestrahlung, postoperative.
Primärelektronen, Anzahl 419 s. auch Elektronen.
— Bahnlänge 229, 246.
— Emissionsfähigkeit der Elemente 187.
— relative Anzahl der schnellsten 247.
— Umsetzung der kinetischen Energie 228.
— und Qualität der absorbierten Strahlen 406.
Primärstrahlenkegel 334.
— Abnahme der Intensität mit der Entfernung vom Zentralstrahl 334.
— Begrenzung 334.
— Darstellung des Intensitätsabfalls an der Grenze 346.
— Einfluß der Blendengröße 348.
— — der Blendennähe 348.
— — der Kammergröße 345.
— Verwischung der Grenzen durch die Kammergröße 347.
Primärstrahlung, Elektronenemission und Wellenlänge 214.
— und Elektronenenergie 217ff.
— und Elektronenqualität 219.
— und Elektronenrichtung 219.
— Wellenlänge und Elektronengeschwindigkeit 234.
Probatorische Bestrahlung 552.
— Dosis 553.
Probeexzision beim Kollumkarzinom 531, 551.
— Gefahren 531.
— Größe 552.
Probeexzision beim Ösophaguskarzinom 670.
Protoplasmaaktivierung und Reizdosis in der Strahlenbehandlung 608.
Pugasche Streuungsrinne 624.

Qualität der Röntgenstrahlung 268.
— praktische Bestimmung 268ff.
Quantenbahnen 212.
Quantenbahn und Ionisationsarbeit 214.
Quantgröße und Wellenlänge der Röntgenstrahlen 213.
Quantenhafte Absorption der Röntgenstrahlen 213.
Quantentheorie und Sekundärstrahlung 405ff.
Quantenzahl 212.

Radiosensibilisierung 554ff.
Radiosensibilität des Kollumkarzinoms 554ff.
— Bedeutung 584.
— Beeinflussung durch Sensibilitätsatoren 554.
— Schätzung 582.
— und histologisches Bild 556.
— und notwendige Dosis 582.
— und Reifegrad 556.
Radiosensibilität des Ösophaguskarzinoms 707.
Radium, Ausschaltung der β-Strahlung bei der Ionisationsmessung 317.
— biologische Erforschung der Wirkung 549.
— Dosierung 553.
— Einfluß der Emanation auf die Ionisationsmessung 317.
— elektive Wirkung 708.
— Flächenverteilung bei der Therapie 547.
— γ-Strahlenpräparate zur Konstanzprüfung des Ionisationsmeßgeräts 317.
— Reichweite der γ-Strahlen 712.
— Reizdosis 709.
— Tiefendosis 709.
Tiefenwirkung 548ff.
— Verteilung auf langer Linie 550.
— Wirkungsmechanismus 548.
Radiumkontrolle des Ionisationsmeßgeräts.
— α-Strahlenpräparate 319.
— Filterung 318.
— β-Strahlenpräparate 317.

Radiumkontrolle, Nachteile 319, 320.
— Präparatgröße 320.
— Sättigungsspannung bei der α-Strahlung 319.
— Vorsichtsmaßregeln 318.
Radiumnadeln 577.
Radiumpräparate 679, 695.
— Anwendung intravenös 716.
— Anwendung per os 715.
— bei der ösophagoskopischen Methode 691ff.
— bei der Sondenbestrahlung 679ff.
Radiumschwielen 590.
Radiumsonde nach Einhorn 679.
Radiumsonde nach Czerny-Caan 682.
Radiumtechnik 550 s. auch Radiumtherapie.
— absolute Radiumdosis 567.
— Dosierung 553.
— Dosierungstabellen 559.
— Einheiten 559.
— Formen der Radiumträger 571.
— Maßeinheiten 557.
— Milligrammstunde 558.
— physikalische Messung der Radioaktivität 557.
— räumliche Anordnung der Präparate 561, 562.
— Vereinheitlichung der Dosierung 564.
— Vergleich der vorliegenden Einheiten 559.
— vorbereitende Maßnahmen 551.
Radiumtherapie 545ff.
— Absolute Radiumdosis 567.
— Anfänge 545, 546.
— Applikationsformen 550.
— biologische Erforschung der Wirkung 549.
— Rominici Methode 546.
— Dosierung 549, 553.
— Erythemdosis und Abstand 566.
— Erythemzeiten und Abstand 560.
— Erythemzeiten und Präparatlänge 561.
— Filterung 573.
— Flächenverteilung des Radiums 547.
— Hartfilterung 546.
— mittlere Gebrauchserythemdosis 569.
— Radiumträger 571 s. Radiumträger.
Radiumtherapie, Reizsummation 570.
— Streustrahlung und Dosis 563.
— Technik 550 s. Radiumtechnik.
— Tiefenwirkung des Radiums 548ff.
— Unterschiede der Erythemdosen 568.
Vergleich der Dosierungseinheiten 564.
— Verwendete Mengen 546.
— Vollwirkungszeit 570.
— Wirkung mehrerer Präparate 560.
— beim Kollumkarzinom 545ff.
— abdominale 581.
— Abstand der einzelnen Dosen 570.
— Anfänge 546.
— Anzuwendende Mengen 587.
— Art der Applikation 578.
— Berliner Gerät 574.
— Bestrahlungsgeräte 573.
— Desinfektion 551.
— Dominiciröhrchen 546.
Dosierung 553.
— Dresdener Gerät 575.
— einstellige Bestrahlung 581.
— Excochleation 551.
— Fiebersteigerung 551.
Filterung 576.
— Fistelbildung 590.
— Gefahren 589ff.
— Hartfilterung 546.
— Heidelberger Gerät 573.
— historische Entwicklung 545ff.
— Indikation 587.
— Indikation für die einzelnen Methoden 588.
— Indikation und Gruppeneinteilung 588.
— Karzinomdosis 555.
— kombiniert mit Röntgenbestrahlung 587 s. kombinierte Röntgenradiumtherapie.
— Kontraindikation 587.
— Kreuzfeuerbestrahlung 574, 581.
— Maßeinheiten der Radioaktivität 557.
— Münchner Gerät 575.
Nachwirkungszeit 570.
— Notwendige Dosis 582.
— Ort der Applikation 578.
— parametrane Applikation 580.
periphere Applikation 579.
— Praxis und Durchführung 582.
— primäre Mortalität 589.
— Probebestrahlung 552.
— Probeexzision 551.
Radiumtherapie, Radiosensibilisierung 554ff.
— Radiosensibilität 554ff.
— Radiumnadeln 577.
— Radiumschmielen 590.
— Radiumzellen 578.
— rektale Applikation 580.
Rektumdistanz und Dosis 583.
— Schädigungen 589ff.
— Schätzung der Radiosensibilität 582.
— Spätschädigungen 591.
— Spickmethode 577.
— Technik 550 s. Radiumtechnik.
— und Allgemeinzustand 586.
— und Gruppeneinteilung 582.
— unterbrochene Dickfilterung 576.
— urethrale Applikation 579.
— vaginale Applikation 580.
verzettelte Dosis 570.
vesikale Applikation 52.
— vorbereitende Maßnahmen
Zeitproblem 570. [551.
— zentrale Applikation 579.
Radiumtherapie bei Ösophaguskarzinom 677ff.
Bestrahlungszeit 713.
— Blutungen 711.
charakteristische Eigenstrahlung 712.
— Dosierung 713.
— Entwicklung 677.
— Filtermaterial 712.
— Fixierung 707.
— Gefahren 710.
— histologische Veränderungen 708.
— Methoden 690ff.
Methode der Wahl 695.
— Methode des Leitfadens 694.
mittels Ösophagoskops 690.
— moderne Bestrahlungsweise 707.
— Nachbehandlung 714.
— Perforation 711.
— Reizdosis 709.
— richtige Lokalisation 707.
— seitherige Erfolge 677ff.
— seitherige Methoden 677ff.
— Sondenbestrahlung 678 s. Sondenbestrahlung.
— Vermeidung von β-Strahlen 712.
— Wiederholte Bestrahlung 714
Radiumträger 571, 679, 682, 695.
— Filter 573.
— Formen 571.
— Konstruktion 573.

Radiumzellen 578.
Raumdosis bei der Röntgentherapie 616.
Rektoskop 76.
— Reichweite 76.
Rektum und Kollumkarzinom 536.
Regeneration des Hodens 448ff., 511.
— Definition 511.
— Verlauf 518.
Reifegrad des Kollumkarzinoms 556ff.
— und Radiosensibilität 556.
Reine Luftionisation 188, 244.
— Vorbedingungen für die Messung 244.
Reizdosis in der Strahlentherapie 607.
Reizdosis und Protoplasmaaktivierung 608.
Reizsummation bei der Radiumtherapie 570.
— bei der Röntgentherapie 606.
Rekombination von Ionen 184.
— Ausschaltung 185.
Repopulation des Samenepithels 448ff., 511.
— Definition 511.
— Verlauf 518.
Restitution des Samenepithels 464.
— Beginn 465.
— Geschwindigkeit 470.
— Grenzdosis 479.
— und Depopulation 464.
— und Repopulation 511.
— Zeitpunkt 470.
Rezidivbildung beim Kollumkarzinom 542.
— Diagnose 542.
— Zeitpunkt 542.
Rezidivgenese beim Kollumkarzinom 645.
Röhrenspannung, Bestimmung durch die Grenzwellenlänge 160.
— und charakteristische Eigenstrahlung 165, 225.
Röntgenabteilungen, Anlage 374ff.
— Wahl der Räume 379.
— zweckmäßige Anordnung 377, 378.
Röntgenatrophie des Hodens 445ff.
— Ablauf 446.
— dauernde Atrophie 471.
— Dauersterilisation 472.
— Dosis und Latenz 450ff.
Röntgenatrophie, Einfluß der Dosis 478ff.
— einmalige Bestrahlung 483ff. Entwicklung des Begriffs 445.
— fraktionierte Bestrahlung 483.
— Früheffekt 449ff.
— Früheffekt bei großer Dosis 450.
— Früheffekt bei kleiner Dosis 453.
— heredozelluläre Schädigung 466.
— Histogenese, ältere Anschauung 445.
— Hodennekrose 454.
— Koagulationsnekrose 454.
— Kolliquationsnekrose 455.
— Lähmungsdosis der Spermiogonien 467.
— Latenzzeit 491, 520 s. Latenzzeit.
— menschlicher Hoden 458.
— Mitosen 448, 507 s. Mitosen.
— Primäreffekt 518, 520.
— Regeneration 448ff. s. Regeneration.
— Repopulation 448ff. s. Repopulation.
— Restitution 464ff. s. Restitution.
— Röntgenempfindlichkeit 447.
— Schema 490.
— Sekundäreffekt 520.
— Sertolizellen 511.
— Spermiogonien, Veränderungen 450.
— Stadien der Depopulation 457 s. Depopulation.
— Stadieneinteilung 469.
— und Steinach-Operation 488.
— und Verjüngung 488.
— und Zellsensibilität 519.
— und Zwischenzellen 447 s. Zwischenzellen.
— Verhältnis zur gewöhnlichen Atrophie 481.
— Verhalten des Samenepithels 486 s. Samenepithel.
— Verhalten der Spermiden 481.
— Verhalten der Spermiogonien 479.
— Verlauf 449ff., 519ff.
— — ältere Anschauung 446.
— — bei großer Dosis 450.
— — bei kleiner Dosis 453.
— — bei sehr großer Dosis 454.
— verzettelte Dosis 486.
Röntgenhoden 443ff. s. Röntgenatrophie der Hoden.
Röntgenhoden, als isolierte Pubertätsdrüse 443, 447.
— Entwicklung des Begriffs 445.
— Histogenese 445ff.
Röntgenbefund bei der Miliartuberkulose 134, 135ff. s. Röntgenbild.
Röntgenbild bei der Miliartuberkulose 134, 135ff.
— Abbildung plattenferner Herde 136.
— Aufnahmetechnik 135.
— bei akutester Miliartuberkulose 137.
— Charakteristika 134.
— Differentialdiagnose 138.
— Größe der Herde 135.
— Schattenverteilung 139.
— Täuschungen 138.
— Theorie des Röntgenbefundes 137.
— und ausgeheilte Miliartuberkulose 141.
— und Diagnose 134.
— und verschiedene Formen 136.
— Zeitpunkt des positiven Röntgenbefundes 138.
Röntgenbild der Knochenatrophie120ff.s.Knochenatrophie.
— Gitterwirkung der Spongiosamaschen 124.
Röntgendiagnose des Ösophaguskarzinoms 669.
— Bestimmung der unteren Tumorgrenze 669.
— Durchleuchtung 669.
Röntgendiagnostik der Dickdarmtumoren 1ff.
— Allgemeine Symptome 30.
— anatomische Grundlagen 11.
— Darmblähung 35.
— Darmkontur 13.
— Dehnungsfähigkeit des Darmes 16.
— Dichte des Darmkontrastfeldes 16.
— Durchleuchtung 5.
— Durchleuchtung oder Aufnahme 6, 12.
— Entwicklung 4.
— Füllungsdefekt 31.
— Gefahren 20.
— Geschwülste des Coecum und Colon ascendens s. Coecum und Colon ascendens usw.
— gestielte Tumoren 31.
— Größe des Tumorstiels 31.
— Indikation 18.
— kombinierte Methode 8, 9.

Röntgendiagnostik, Kontrasteinlauf 5, 17.
— Kontrastmahlzeit 4, 17.
- Kontrastmischungen 5.
Kontur bei verschiedenen Untersuchungsmethoden 14.
Kritik der Methoden 21.
- Methoden 4, 8ff.
- Methode der Luftaufblähung 9.
- Nachteile 17.
spezielle Diagnostik 37ff.
- Stauung des Kontrastinhaltes 34.
— Stierlinsches Symptom 32 s. Stierlin.
— Täuschungsmöglichkeiten 13.
- Technik 4.
— Ulkussymptome 36.
- Vorbereitung 6.
— wiederholte Füllung 7.
Röntgendosimeter nach Siemens 305.
Röntgendosimetrie 353ff. s. Ionisationsmessung.
— Bestimmung durch Fluoreszenzhelligkeit 358.
— Folienfaktor 356.
— Fürstenau-Intensimeter 353.
— Leitfähigkeit der Selenzelle 353.
— photographisches Dosimeter nach Behnken 357.
— photographische Messung 354.
— Sabouraud-Noiré-Tablette 358.
Röntgendurchleuchtung beim Dickdarm 12 s. röntgenologische Diagnostik des Dickdarms.
Röntgenempfindlichkeit, allgemein und Reizempfindlichkeit des Gewebes 447.
— der Spermiozyten 487 s. Samenepithel.
— der Spermiogonien 487 s. Samenepithel.
— des Hodens und maligne Tumoren 448, 488.
— der Mitosen.
— — Ergebnisse 509.
— — Sekundäreffekt 508.
— — Zeitpunkt der Untersuchung 508.
— des Samenepithels 479.
Röntgenenergie 268.
— Einheit 268.
— Umformung bei Absorption 223.
Röntgenenergie und Ionisation bei gleicher Wellenlänge.
- und Ionisation bei verschiedener Wellenlänge 260.
- Unsicherheit 261, 268.
- Verschiedenheit bei gleicher Ionisation 267.
Vorteile der Energiemessung 268.
Röntgenerythem 615.
Schwankungen 615.
— wellenförmiger Ablauf 615.
Röntgenfluoreszenz 388.
Röntgenschädigung, latente der Spermiogonien 457.
Röntgenschutzanlagen, moderne 376.
Röntgensches Absorptionsgesetz 323.
Röntgensensibilisierung 609.
Röntgensensibilität 609.
Röntgenspektralapparate 154.
— Lochkameramethode nach Seemann 155.
— Methode des Drehkristalls nach Wagner 154.
— Röntgenspektrometer 156.
— Spektrograph nach Seemann 154.
— Transmissionsmethode 156.
Röntgenspektrometer von March, Staunig und Fritz 156.
Röntgenspektroskopie, Bedeutung 173.
— Bestimmung der kürzesten Wellenlänge 157.
— Ergebnisse 158ff.
— Methoden 154ff.
— und Absorptionssprung 172.
Röntgenspektrum, Erzeugung durch Kristalle 153.
Röntgenspektrum, kontinuierliches s. kontinuierliches Röntgenspektrum 158.
- Begrenzung 159.
- Grenzwellenlänge und Röhrenspannung 160.
— Intensitätsverteilung 159, 161.
— — und Antikathodenmaterial 161.
— Ionisationsmessung 159.
— Richtungsabhängigkeit 162.
Röntgenspektrum, Theorie 153.
— und Ordnungszahlen der Elemente 211.
— verschiedener Metalle 272ff.
Röntgensterilisation 472, 474.
Röntgenstrahlen, Absorption 169, 191ff., 213ff., s. Absorption von Röntgenstrahlen.
Röntgenstrahlen, Absorption, Berechnung für Luft 195.
- Absorptionsgesetz 193.
Absorption, quantenhafte 213.
— Vermehrung 394 s. Absorption der Röntgenstrahlen.
Aspezifität 478.
- Berechnung der Schwächung für chemische Verbindungen 195.
- — für Elemente 191.
- — für Luft 195, 196.
Berechnung der Streuung für Luft 195.
- Dosisbegriff 603.
Dosismessung 629.
— direkte 629.
— indirekte 629.
Dosisstufe 610.
Einfluß des Dauerbetriebs 285.
— der Netzspannung 284.
Emission 213ff., 224ff.
— Erzeugung von Beugungsbildern 149.
— Homogenität, praktische 326.
— Homogenitätspunkt.
— Intensität und Sättigungsspannung 309.
Ionisation und Absorption 189.
— Latenz und Dosis 479.
— Messung sehr schwacher 188.
— Notwendigkeit der Regulation der Netzspannung 284.
— Primärstrahlenbündel 334 s. Primärstrahlen.
— Primärstrahlenkegel 345ff. s. Primärstrahlenkegel.
— Regulation der Netzspannung 284.
— Relativität der medizinischen Strahlendosis 605.
— Reproduzierbarkeit 283.
— Schwächung 191ff.
— — Abhängigkeit von der Wellenlänge 192.
— Schwächungskoeffizient 191ff.
— — Bestimmung 191.
— — Tabelle für diesen 192.
— Strahlungsdruck 201.
— Streuung 191ff.
— Streuungskoeffizient 193, 194.
— — Berechnung 194.
— Toleranzdosis 367.
— Verhältnis der gestreuten zur absorbierten Energie für Luft und Wasser 197.

Röntgenstrahlen, Verhältnis zur Lichtstrahlung 199.
— weiche, Einfluß der Luftabsorption 285.
— Wellenlänge und Ionisation 189.
— — und relative Ionisation von Gasen 190.
— Wesen 149, 209.
Röntgenstrahlengemisch, Homogenität, praktische 326.
— Homogenitätspunkt 326.
Röntgentechnik 598ff.
— beim Ösophaguskarzinom 676.
— Dosierung der Röntgenstrahlen 602.
— Felderwähler nach Holfelder 621.
— Härte der Strahlung 611.
— Homogenität der Röntgenstrahlung 611.
— Intensitätsmessung 612.
— Maßeinheiten 611.
— Standarddosimetrie 613.
Röntgentheorie und Röntgenpraxis 605.
Röntgentherapie 595.
Röntgentherapie des Kollumkarzinoms 595 s. auch Röntgentherapie.
— — absolute Heilungsziffer 659.
— — allgemeine Beurteilung 599.
— — allgemeine Dosierung 642.
— — allgemeine Prognose 599.
— — als biologisches Problem 597, 606.
— — als physikalisches Problem 597.
— — ambulante Behandlung 602.
— — Apparatur 622.
— — Bestrahlung der Parametrien 633.
— — Bestrahlungsmethoden 626.
— — Dosierung 602.
— — Dosierung, ungenügende 608.
— — Dosismessung 629.
— Einstellgeräte 623.
— Erfolge 650.
— Erythemdosis 615.
— Homogenbestrahlung 626 s. Homogenbestrahlung.
— Intensitätsverteilung 617.
— Karzinomdosis 602, 603, 642.
— Kritik 641, 647.
— Komplikationen 651.
Röntgentherapie, Methode Chaoul 624.
— Methode Dessauer-Warnekros 636.
— — Nachbehandlung 638.
— Methode Krönig-Friedrich-Opitz 635.
— Methode Lahm 639.
— Feldgröße 639.
— Feldverteilung 639.
— Methode Martius 638.
— Methode Rahm 625.
— Methode Seitz-Wintz 623, 630.
— — Felderwähler 632.
— — Gefahren 631.
— — Nachbehandlung 634.
— — Technik 632.
— — Verkupferung 631.
— — Vorbehandlung 630.
— Physikalische Dosis 616.
— Postoperative Nachbestrahlung 643 s. Nachbestrahlung, postoperative.
— Pugasche Streuungsrinne 624.
— Raumdosis 616.
— Refraktäre Fälle 651.
— Reizdosis 607.
— Reizsummation 606.
— Röntgenröhre 622.
— Röntgensensibilisierung 609.
— und Allgemeinzustand 614.
— und Bindegewebe 654.
— Schädigungen 651.
— Statistik 655ff.
— Strahlensammler nach Chaoul 624.
— Streustrahlenzusatz 618.
— Technik 598 s. Röntgentechnik.
— Teilbestrahlungen 609, 629.
— Umbauverfahren 625.
— Veränderungen des Reifegrads 653.
— Verkupferung 631.
— verzettelte Dosis 606.
— vorbereitende Maßnahmen 598.
— Vor- und Nachbehandlung 642.
— Wiederholungen der Bestrahlungen 641.
— Zeitfaktor 614, 628.
Röntgentherapie des Ösophaguskarzinoms 672.
— Aussichten moderner Bestrahlungsweise 675.
— Dosierung 675.
— Entwicklung 672.
— Erfolge 676, 677, 718.
Röntgentherapie, Erfolge, seitherige 672, 674.
— Gefahr der Kehlkopfnähe 675.
— Intensivbestrahlung 676.
— Karzinomdosis 675.
— Methoden, moderne 675.
— — seitherige 672.
— Schädigungen 675, 677.
— Schmerzlinderung 677.
— Schwierigkeiten 675.
— Statistik 673.
— Streustrahlung 675.
— Technik 676.
— und Intubation 674.
— Entwicklung 595, 672.
— Erfolge 595.
— Technik 598ff. s. Röntgentechnik.
— und Sensibilisierung 597.
Röntgen- und Radiumbestrahlung, kombiniert beim Kollumkarzinom 587 s. kombinierte Röntgen-Radiumbestrahlung.
Rückstoßelektronen 409.
— Anteil an der Gesamtionisation 205.
— Austrittsrichtung 205ff.
— Bahnlänge 206.
— Effekt 435.
— Elektronenstrahlung 435.
— experimentelle Prüfung der Austrittsrichtung 205.
— — der Geschwindigkeit 205.
— — der Häufigkeit 205.
— Geschwindigkeit 205ff.
— Häufigkeit 205ff.
— Ionisationswirkung 207.
— und Sekundärstrahlentherapie 435.
— und Wirkungssteigerung 410.
Rückstoßgeschwindigkeit und Härte der Strahlung 202.
Rückstoßrichtung bei der Streuung 202.
Rutherfords Atommodell 210ff.
Rydbergsche Konstante 220.

Sabouraud-Noiré-Tablette 358.
— Verwendung in der Oberflächendosis 359.
Sättigung bei der Ionisationsmessung 296.
Sättigung, notwendige Spannung 185.
Sättigungskurve 185, 310.
Sättigungsprüfung bei der Ionisationsmessung 309.

Sättigungsprüfung bei vorgeschriebener Kammerspannung 310.
— durch Ionisationskurve 311.
Sättigungsspannung, Intensität 309.
— Prüfung bei beliebiger Kammerspannung 309.
— Intensitätsmessung 309.
— und Ionisation 310.
Sättigungszustand bei der Ionisation 185.
Samenepithel.
— Anatomie 449.
— Entstehung aus Sertolizellen 516.
— Lähmung der Spermiogonien 519.
— Röntgenempfindlichkeit der einzelnen Elemente 479, 486.
— Röntgenempfindlichkeit der Spermiogonien 487.
— und Zwischenzellen 493.
— Verhalten bei der Röntgenatrophie 486.
— zahlenmäßiges Verhältnis zu den Zwischenzellen 503.
Samenkanälchen im Hoden 449.
Sarkom des Dickdarms 23.
Schädigungen bei der Röntgentherapie des Ösophaguskarzinoms 675, 677.
Schalenanordnung der Elektronenbahnen 212ff.
Schultz-Arndtsches Gesetz 549.
Schutzelektroden 238, 244.
Schutzhaus 375.
— Anordnung 376ff.
Schutzringprinzip bei der Ionisationsmessung 297.
Schutzstoffprüfung 371ff.
— Ergebnisse 372.
— Materialdicke 371.
— relative Schutzwirkung gegenüber Blei 372ff.
— Versuchsanordnung 372.
Schutzwirkung, Berechnung der Schwächung der Primärstrahlung 373.
— Bleiglasscheiben 379.
— Gleichmäßigkeit 374.
— relative gegen Blei 372ff.
— und bestrahlte Fläche 371, 373.
Schwächung der Röntgenstrahlung 170, 191ff., 367.
— Abhängigkeit von der Wellenlänge 192.
— bei homogener Strahlung 368.
Schwächung bei nicht homogener Strahlung 368.
— Berechnung für chemische Verbindungen 195.
Berechnung für Elemente 191.
Berechnung für Luft 195, 196.
Schwächungskoeffizient 170, 191ff., 367.
Bestimmung 191.
— Glockersche Formel 193, 195.
— Tabelle 192.
— und Atomzahl 368.
— und Wellenlänge 368.
— zur Bestimmung der mittleren Härte 325ff.
Schwangerschaft und Kollumkarzinom 599.
Sekundärelektronen, Absorbierbarkeit 390.
— Anzahl 227.
beim Bremsvorgang 229.
— Emission 226.
— Geschwindigkeit 226.
— Reichweite 391.
— Sensibilisierung 396.
Sekundärstrahlen, Qualität und biologische Wirkung 437.
Sekundärstrahleneffekt 435.
Sekundärstrahlenemission 404.
Sekundärstrahlenemissionskoeffizient 411ff.
Sekundärstrahlensensibilisierung 389ff., 409ff., 429.
— als Elektronenwirkung 433ff.
— biologische Untersuchung 429.
— Entwicklung 389.
— Entwicklung der Theorie 389.
— Erfolge 391ff.
— Ergebnisse 429ff.
— Größe 433.
— klinische Beobachtung 394.
Theorie 409ff.
Versuchsanordnungen 429.
— Wirkungsweise 390ff.
— Zusammenfassung der Versuche 397.
Sekundärstrahlentherapie, Entwicklung 389ff.
Erfolge 391ff.
— Ergebnisse 435.
— Grenzen 436.
klinische Beobachtung 389ff.
— praktische Erfolge 435, 437.
— und Rückstoßelektronen 435.
— Zusammenfassung der Versuche 397.
Sekundärstrahlenwirkung, klinische Untersuchung 386.
Sekundärstrahler 389ff.
— Anordnung 436.
Sekundärstrahler, Applikationsformen 390ff., 436.
— Atomgewicht 390ff.
— Auswahl 391.
— diffus verteilte 421ff.
— Eisen 392, 430.
— Gold 396, 430ff.
Jod 392, 430.
Iontophorese zur Applikation 397.
— Konzentration 437.
— Kolloidmetalle 391, 430.
— Kupfer 397, 430ff.
— massive 411ff.
Metallsalze und reine Metalle 396.
— pharmakologische Wirkung 438.
Platin 396, 430ff.
Silber 390, 430.
Thoriumnitrat 395.
Untersuchung im Wasserphantom 425.
— Urannitrat 429.
— Verteilungsform 410.
Wolfram 426, 429.
— Zink 391. 431.
Sekundärstrahlung 369, 389ff.
— Arten 369.
— Ausnutzung für Röntgenplatten 428.
— Bedeutung für den Strahlenschutz 375.
bei diffuser Verteilung des Sekundärstrahlers 422.
der Emergenzseite 414ff.
der Emergenzseite in Abhängigkeit von der Wellenlänge 415.
der Emergenzseite Intensität 415.
— der Inzidenzseite 411ff.
der Inzidenzanteil an der Gesamtdosis 414.
der Inzidenzseite in Abhängigkeit von der Wellenlänge 414.
der Inzidenzseite Intensität 411ff.
— der Inzidenzseite relative Größe 414.
Gefährlichkeit 375.
— Größe 423.
— Meßmethoden 423.
— Nachweis 423.
— quantentheoretische Berechnung 417.
— Tiefenwirkung 422.
— und Absorption der Primärstrahlung 418.
— und Atomzahl 424.

Sekundärstrahlung und Elektronenstrahlung im Verhältnis zur Ionisation 423.
— und Quantentheorie 405ff.
— und Streustrahlung 426.
— Zustandekommen 398.
Selenzelle 353.
Senile Atrophie des Knochens 114 s. Knochenatrophie.
Sensibilisierung, chemische 388.
— — und Röntgenfluorezsenz 388.
— — Wesen 388.
— mit fluoreszierenden Substanzen 386ff.
— — Erfolg 386ff.
— — Vorgehen 386ff.
— mit Sekundärstrahlen s. Sekundärstrahlensensibilisierung.
— optische 385.
— physikalische als Elektronenwirkung 432ff.
— — Größe 433ff.
— — und Atomzahl des Sekundärstrahlers 430ff.
— — und Fluoreszenz 388.
— Verhältnis physikalischer zu chemischer 386.
— Zeitpunkt vor der Bestrahlung 386.
Sensibilitätskoeffizient 268.
Sertolizellen 450.
— Bedeutung 521.
— Bedeutung bei der Regeneration 511.
— Bedeutung bei der Repopulation 511.
— Bedeutung bei der Restitution 511.
— Charakteristika 513.
— innere Sekretion 518.
— regressive Metamorphose 515. Umwandlung zu Spermio-
— gonien 516.
Siemens-Dosiszähler 630.
Siemens-Röntgen-Dosismesser 305.
— Konstanzprüfung 307.
Sigmaschlinge, entzündliche Tumoren der, Diagnose 83.
— Differentialdiagnose 84, 86.
— Divertikulitis 84.
— Krankheitsbilder 77ff.
— Röntgenbefund 77ff.
— röntgendiagnostische Technik 77.
— Schwierigkeiten der Diagnose 76.
— Sigmoiditis 85.
— Topographie 76.
Sigmoiditis 85.
Silber als Sekundärstrahler 390, 430ff.
Sinapis 450, 452.
Sonde ohne Ende, Dilatation des Ösophaguskarzinoms 715.
Sondenbestrahlung beim Ösophaguskarzinom 678.
— Anwendbarkeit 678.
— Auswahl der Fälle 680.
— Czerny-Caansche Radiumsonde 682.
— Einhorns Radiumsonde 679.
— Erfolge 680f., 683, 687.
— Erfolge der Franzosen 680ff.
— fehlerhafte Applikation 686.
— Fixation der Sonde 690.
— Indikationsbereich 690.
— Indikationsstellung 680ff., 686ff.
— Kritik 685.
— Mediastinitis 685.
— Methoden 678.
— Nachteile 685.
— Perforationsgefahr 687.
— Präparate 678.
— Sondenreiz 686.
— Statistik 680, 688.
— Vorteile 678.
Sondierung beim Ösophaguskarzinom 670.
Sondierung ohne Ende, Applikation des Radiumträgers 696.
— Auffischen des Fadens 695.
— Einzelheiten 695.
— Erfolge 697, 700.
— Heilungsverlauf 700.
— Hilfsmittel 695.
— Krankengeschichten 700.
— Radiumpräparat 695.
— Statistik der Resultate 697ff.
Spätschädigungen bei der Radiumtherapie 591.
Spannungseichung des Elektrometers 311.
— bei der Ionisationsmessung 309.
Spannungssteigerung und Schutzwand 368.
Spektralanalyse im Röntgenstrahlengebiet 166 s. Röntgenspektroskopie.
Spektralapparate für Röntgenstrahlen 154 s. Röntgenspektralapparate.
Spektrograph für Röntgenstrahlen nach Seemann.
— Beurteilung 162.
— Methoden 154ff.
Spermiden 450. Röntgenempfindlichkeit 481. Verhalten bei der Röntgenatrophie 481. Näheres s. Samenepithel.
Spermiogenese, normale Dauer 476.
— und Röntgenstrahlung 449ff.
Spermiogonien.
— Bedeutung bei der Depopulation 459ff.
— Entstehung aus Sertolizellen 516.
— erste Veränderungen bei Röntgenbestrahlung 450
— Lähmung 467, 519.
— Lähmungsdosis 467.
— latente Röntgenschädigung 457.
— Röntgenempfindlichkeit 479. Zellteilungsgeschwindigkeit 468.
Spickmethode bei der Radiumbehandlung 577.
Spongiosamaschen, Gitterwirkung bei Bucky-Effekt 124.
— Knochenaufnahme 124.
Spontanheilung des Kollumkarzinoms 555.
Standarddosimetrie 261ff., 613.
— Einheit 265, 267.
— Empfindlichkeit 265.
— Gerät 264.
— Konstruktion des Geräts 269.
— und Energiemessung 268.
— Vorteile 264.
Standardgerät 264ff.
— Gesichtspunkte bei der Konstruktion 270.
— Konstanz der Empfindlichkeit 271.
— Konstruktion 269.
— Maße 269.
Statistik des Kollumkarzinoms 538ff.
— der einzelnen Gruppen 539.
— der operablen Fälle 540.
Statistik des Ösophaguskarzinoms 680.
— bei Sondenbestrahlung 688.
— bei Sondierung ohne Ende 697ff.
Statistik der Strahlenbehandlung des Kollumkarzinoms 655.
— prophylaktische Nachbestrahlung 659.
— Radiumbestrahlung 655.
— Radium-Röntgen-Kombination 658.

Statistik, Röntgenbestrahlung 657.
Statistisches Material für die Behandlung des Kollumkarzinoms 538ff.
Stauung und akute Knochenatrophie 117.
Steinoperation und Röntgenatrophie des Hodens 488.
Stierlin-Symptome 32.
— Bedeutung 33.
— Erklärung 32.
— und Resektionspräparat 33.
Stierlins Ascendens-Obstipation 66.
Stoppuhr 314.
— Ablaufzeit 314.
— Prüfung 314.
Strahlensammler nach Chaoul 624.
Strahlenschädigung beim Kollumkarzinom 543.
Strahlenschutz 367.
— Bedeutung der Sekundärstrahlung 375.
— durch strahlensichere Röhrenanordnung 379.
gegen direkte Bestrahlung 369.
— gegen indirekte Bestrahlung 369.
— Gesichtspunkte 375.
— Notwendigkeit 367.
— physikalische Grundlagen 367.
— Schutzstoffprüfung 371, Näheres s. Schutzstoffprüfung.
— Schutzwirkung und bestrahlte Fläche 371.
Strahlenschutzeinrichtungen 374.
— Anforderungen an diese 375.
— Schutzhaus 375.
Strahlenschutzwand, Effekt der Wanddicke 369.
— Schwächung der Wanddicke 368.
— und Spannungssteigerung 368.
Strahlensichere Bestrahlungsgeräte 379.
— Konstruktion 380.
Strahlentherapie, physikalische Grundlagen 398.
Strahlentherapie des Kollumkarzinoms.
— Angriffspunkt der Strahlenwirkung 545.
— Besserung der Operabilitätsziffer 544.
— Einwände 544.
Strahlentherapie, Radiumtherapie s. Radiumtherapie des Kollumkarzinoms 545ff.
Rezidivbehandlung 544.
— Röntgentherapie des Kollumkarzinoms s. d. 595.
— Schädigungen 543.
— Schmerzlinderung 544.
— und Lebensverlängerung 541.
— und Metastasenbildung 543.
— und Rezidivbildung 542.
Strahlentherapie des Ösophaguskarzinoms 665ff.
— Radiumtherapie 677 s. d.
— Röntgentherapie 672 s. d.
Strahlenwirkung, biologische.
— Steigerung durch Sekundärstrahlenwirkung 422.
Strahlung, charakteristische 219ff., 224ff. s. charakteristische Strahlung.
— Berechnung 221.
— und Röhrenspannung 225.
— Wellenlänge 221.
Strahlung, elektromagnetische 209.
Strahlungsdruck 201.
Streustrahlenzusatz bei der Tiefentherapie 618.
Streustrahlung 238, 369, 408, 409.
— Absorption 238.
— am Körper des Patienten 380.
— Anteil an der Ionisation 408.
Ausschaltung 239, 240.
— bei der Behandlung des Ösophaguskarzinoms 675 s. Röntgenbehandlung des Ösophaguskarzinoms.
— Bestimmung der Größe 339.
— Größe 338.
— Härte 398.
— Härte im Verhältnis zur Primärstrahlung 370.
— Häufigkeit der Streuungsvorgänge 409.
— Intensität und Wellenlänge der Primärstrahlung 370.
Polarisation 199.
prozentualer Verlauf 340.
relative Intensität 200.
Richtung 200.
— und Elektronenzahl 198ff.
— und Ionisation 207.
— und Schwächung 340.
— und Sekundärstrahlung 426.
— Verhältnis der Wellenlänge zur Primärstrahlung 201ff.
— Verhältnis zur absorbierten Strahlung 239.
— Wellenlänge 409.
Streustrahlung, Zusatzstrahlung 334.
Streuung von Röntgenstrahlen 191ff,. 403.
— Abnahme der Härte der Primärstrahlung 201ff.
— an der Luft 238.
— an der Kammerwand 238.
— an freien Elektronen 201.
an gebundenen Elektronen 198.
— Berechnung für Luft 195.
— echter Absorptionskoeffizienten 203.
experimentelle Prüfung der Wellenlängenänderung 203.
— Richtung des Rückstoßes 202.
Richtung der Streustrahlung und Wellenlängenänderung 202.
und Absorption im Gewebe 409.
— und Absorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge 409.
— Verhältnis der gestreuten zur absorbierten Energie 197.
— Vernachlässigung der Luftionisation 239.
— Zusammensetzung aus einzelnen Faktoren 203.
Streuungskoeffizient von Röntgenstrahlen 170, 193, 239, 370, 403.
— Abhängigkeit von der Wellenlänge 197.
— Berechnung 194.
— echter 203.
— und Wellenlänge 170, 202.
Streuungsvermögen, Abhängigkeit von der Dichte 199.
— relatives von Elementen 199.
— von Verbindungen 199.
Streuungsvorgänge, Häufigkeit 409.
Struktur, histologische des Kollumkarzinoms 534.
Sudeckssche Knochenatrophie 102ff., 116ff. s. Knochenatrophie, akute.
Sympathektomie und Knochenatrophie 113.
Sympathische Erkrankungen des Knochenmarkes 116.

Tamponschlauch bei Insuffizienz des Musculus sphincter ani 7.
Tantalröntgenspektrum 272.
Tenotomie und Knochenatrophie 112.

Teilbestrahlungen bei Behandlung des Kollumkarzinoms 629.
Temperatureinfluß auf die Ionisation durch Röntgenstrahlen 185.
Therapie des Kollumkarzinoms 545ff.
Besserung der Operabilitätsziffer 544.
— Gesichtspunkte 538.
— inoperable Fälle 540.
— Therapieschädigungen 543.
— und Lebensverlängerung 542.
— und Rezidivbildung 542.
Therapie des Ösophaguskarzinoms 665 s. Strahlentherapie.
Thoriumnitrat als Sekundärstrahler 395, 611.
Tiefendosis 332ff.
— bei der Bestrahlung des Hodens 476ff.
— Berechnung 333.
— Dosenquotient 332.
— Einfluß der Dichte 341.
— — der Filterung 338.
— — der Länge des Meßkammerstifts 344.
— — der Meßkammergestalt 344.
— — der Meßkammergröße 344.
— — des Brennfleckabstandes 337.
— — des Meßkammermaterials 344.
— — des Mediums 341.
— Fehlerquellen bei der Messung 333ff., 342ff.
Felderwähler von Holfelder 350.
— Messung 332ff.
— — im Wasserphantom 336.
— praktische Messung 349.
— prozentuale 331ff.
— — zur Bestimmung der mittleren Härte 331.
— — — Brauchbarkeit 332.
— räumliche Verteilung 345.
— und Röntgenmaschine 341.
— Verlauf der Intensitätsabnahme 349.
Tiefenwirkung des Radiums 548ff.
— beim Ösophaguskarzinom 709.
Toleranzdosis für Röntgenstrahlen 367.
Träger 183.
— Wertigkeit 183.
Trägerzahl der Ionisationskammer 315.
Trägerzahl, sekundäre 229.
— tertiäre 229.
— Veränderungsmöglichkeiten 315.
Transmissionsmethode zur Spektroskopie der Röntgenstrahlen 156.
Trophische Einflüsse und Knochenatrophie 111.
Tuberkelbazillen, Virulenz und Formen bei der Miliartuberkulose 134.
Tuberkulose des Dickdarms 24.

Ulkussymptome bei Dickdarmtumoren 36.
Ureter und Kollumkarzinom 536.

Vagina und Kollumkarzinom 535.
Valvula ileocoecalis, abnorme Lage 38.
Vasomotorische Störungen und Knochenatrophie 110, 111, 112, 113.
Verjüngung durch Röntgenatrophie des Hodens 488.
Verzettelte Dosis bei der Radiumtherapie 570.
— bei der Röntgentherapie 606.
— beim Hoden 486.
Voltgeschwindigkeit 224.

Wandstrahlung 234.
— Größe 234.
— relative Größe für verschiedenes Material 235.
— und Luftionisation 236.
— Zunahme mit der Härte der Primärstrahlung 236.
Wandwirkungsbeitrag 231, 235.
— Anteil der Vorder- und Hinterwand 235.
— Ausschaltung durch Schutzelektroden 238.
— bei der Fingerhutkammer 242ff.
— bei der großen Ionisationskammer 231ff.
— mechanische Ausschaltung 237ff.
— Messung 232.
Wasserphantom 336ff.
— Verteilung der Dosis mit der Abnahme vom Zentralstrahl 345 s. Zentralstrahl.
— zur Messung der Tiefendosis 336.
Wellenlänge der Röntgenstrahlen 153, 191ff.
Wellenlänge der Röntgenstrahlen, Abnahme der Härte bei der Streuung 201ff.
— Bedeutung für die Dosismessung 271.
— Berechnung aus dem Glanzwinkel 153.
— Bestimmung der kürzesten Wellenlänge 157.
— Bestimmung durch die Fluoreszenzstrahlung 168.
— der charakteristischen Strahlung 219.
— und Absorptionskoeffizient 170.
— und Ionisation 189.
— und Quantgröße 213.
— und relative Ionisation von Gasen 190.
— und Schwächung 191ff.
— und Streuung 197.
— und Streuungskoeffizient 170, 202.
— Verhältnis von Streuung zu Absorption 194.
Wellenlängenänderung, Bestimmung durch Absorptionsmessung 203.
— — durch Spektralmessung 203.
— und Richtung der Streustrahlung 202.
Wellenstrahlung, sekundäre 411 s. Sekundärstrahlung.
— elektromagnetische 153.
Wintz- und Rump-Dosimeter 358.
Wirbelsäule als Prädilektionsstelle der Knochenatrophie 105.
Wirkungsausfall 231ff.
— bei der Fingerhutkammer 242.
— bei der großen Ionisationskammer 231ff.
— mechanische Ausschaltung 237ff.
— Messung 232.
Wirkungskonstante von Planck 400.
Wirkungsquantum 210.
Wirkungssteigerung durch Rückstoßelektronen 410.

Zellsensibilität gegen Röntgenstrahlen 519.
Zellteilungsgeschwindigkeit 468.
— und Röntgenstrahlen 468.
Zellzerfall beim Karzinomzerfall 652.

1934 67/4

Zentralstrahl, Verteilung der Dosis in der Umgebung 345.
— — Darstellung 345.
Zerstreute Strahlung 369 s. Streustrahlung.
Ziegelmauer, Schutzwirkung 374.
Zink als Sekundärstrahler 391, 431.
Zirkulationsstörungen im Knochenmark 117.
Zusatzstreustrahlung, Abschirmung durch den Meßkammerträger 343.
— Bestimmung 339.
— Größe 338.
— prozentualer Verlauf 340.
Zusatzstreustrahlung und Schwächung 340.
Zweckmäßige Gruppierung der Bestrahlungsräume 377, 378.
Zweielektrometermethode 289.
— Anwendungsgebiet 289.
— konstruktive Voraussetzungen 290.
— Vorteile 289.
Zweifadenelektrometer nach Wulf 301.
Zwischengewebe und Zwischenzellen 496.
Zwischenzellen des Hodens 449. 493.
— absolute Vermehrung 500, 504.
Zwischenzellen als Pubertätsdrüse 493.
Bestimmung der Vermehrung 494.
— Resultate 498.
— — Stieves Methode 497.
Entstehung und Vermehrung 505.
Funktion 506.
Hypertrophie 505.
relative Vermehrung 494.
und Samenepithel 493.
und Zwischengewebe 496.
zahlenmäßiges Verhältnis zum Samenepithel 503.

WN 5 E67
Ergebnisse der medizinischen Strahl
Countway Library
AMG6
3 2044 016 643 934

DUE DATE

Printed
in USA

WN 5 E67
Ergebnisse der medizinischen Strahl
Countway Library
AMG6853
3 2044 016 643 934
HD